



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rita Martins Morgado

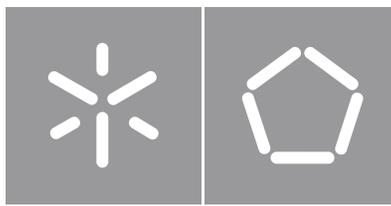
**Impacto na produção de células de
robótica colaborativa em postos de
operação manual**

**Impacto na produção de células de robótica
colaborativa em postos de operação manual**

Rita Martins Morgado

UMinho | 2020

outubro de 2020



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rita Martins Morgado

**Impacto na produção de células de
robótica colaborativa em postos de
operação manual**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Ana Sofia de Pinho Colim
Professor José Dinis 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

Diz o hino da academia que ‘Estes anos são viagem’ e passados cinco anos posso dizer que a caminhada chega ao fim! Foram tempos de aprendizagem, de amizade, de novas aventuras, anos repletos de histórias que guardarei certamente para sempre e as recordarei como as maiores aventuras até agora vividas. Nem todos foram bons momentos, nem todo o tempo foi tempo de lazer. Houveram momentos de *stress*, de extrema dedicação, de tristeza quando não se conseguiam obter os resultados pretendidos, de alegria quando nos superávamos, tempos de aprendizagem em noites passadas a estudar em grupo com a certeza que um dia iria chegar a hora de largamos a casa que tão bem nos acolheu durante este tempo.

Este percurso inesquecível foi passado ao pé daqueles que hoje olho e vejo pessoas que levo para a vida e a eles só tenho a agradecer por todas as risadas, conversas e discussões, partilha de conhecimentos e pela sua amizade incondicional. Em especial, um obrigada à melhor amiga que mais aturou durante todo este tempo, tendo sempre uma palavra de conforto para dar!

Também aos professores que fizeram questão de nos ensinarem o que sabem, muitas vezes não lhes sendo atribuído o mérito, um eterno agradecimento pelo esforço e exigência requerida de todos nós. Em especial, atribuo um profundo agradecimento sincero à minha orientadora para esta dissertação, Professora Ana Sofia Colim, que desde o primeiro dia se mostrou bastante prestável em apresentar-me o projeto à distância, servindo de ponte entre a empresa e mim e que, mais uma vez de forma remota, procurou não me deixar desmotivar para o projeto permitindo-me o contacto direto com a equipa de investigação. Um obrigada pela confiança depositada!

Em seguimento do reconhecimento anterior, deixo também um agradecimento às equipas onde me inseri. Em primeiro ao meu responsável na empresa Nuno Sousa, ao Luís Nunes, ao Ricardo e às colaboradoras com que lidei por se predisporem sempre a ajudar-me quando precisava. Por fim à equipa do laboratório de investigação do DTx com quem tive oportunidade de trabalhar, nomeadamente ao Professor Luís Rocha, ao Gaspar, ao Carlos e ao João, por me acolherem no projeto, permitirem-me partilhar ideias e aprender com vocês.

Por último mas não o menos importante, fica o agradecimento mais sentido que é à família, em especial aos meus pais por me terem encaminhado para este curso, por me terem permitido ter esta oportunidade e por me terem ajudado em todos os momentos. Avô, esteja onde estiver, esta tese é dedicada a si!

Chegamos caloiros, saímos engenheiros! Fecha-se uma porta, abrir-se-ão outras tantas!

Um grande OBRIGADA a todos!

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

Impacto na produção de células de robótica colaborativa em postos de operação manual

As soluções de robótica colaborativa onde humanos e *robots* partilham as suas tarefas têm vindo a entrar no mercado permitindo combinar as vantagens e potencialidades dos *robots* ao nível da precisão, velocidade e repetitividade destes com as capacidades cognitivas e flexíveis do ser humano. Esta integração para a criação de um novo sistema produtivo será tanto mais eficaz quanto mais se adequar às necessidades dos postos de trabalho e atender as necessidades tanto da produção como das pessoas que o executam. Nesse sentido, a presente dissertação analisa dois estudos de caso na secção de montagem de uma fábrica de produção de mobiliário. O objetivo passa por avaliar o impacto da instalação, em termos produtivos e ergonómicos, decorrente da implementação de um sistema colaborativo no posto da pré-montagem (Estudo de caso 1) e a potencialidade da implementação num estudo prospetivo conduzido no posto de *Cold Press* (Estudo de caso 2). O projeto iniciou com a análise crítica da situação atual na secção de montagem, tendo sido aplicada a ferramenta *Ergonomic Value Stream Mapping* (ErgoVSM) e, posteriormente, quatro tipos de análises: estudos de tempos; aplicação do método *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA); e recolha das perceções das trabalhadoras sobre a robótica em meio industrial e/ou sobre a ergonomia do seu posto de trabalho. A implementação da robótica colaborativa no posto da pré-montagem, conseguida com o investimento de 90921,48€, permitiu reduzir o tempo de ciclo das referências em análise em cerca de 4,2% e 7,8% bem como a pontuação RULA ponderada em cerca de 5,0%. Relativamente à sua influência na montagem, o sistema criado permite reduzir em 7% o consumo de cola diário por palete, bem como a redução em 8,7% da pontuação RULA. No segundo estudo de caso, sendo um estudo prospetivo, analisaram-se as propostas apresentadas à empresa (incluindo a aplicação do método RULA) e estimou-se o potencial de implementação de uma célula colaborativa no posto de *Cold Press*, sendo este mais impactante da tarefa de alcançar e empilhar as *frames*/placas de HDF. Os resultados obtidos demonstraram que a robótica colaborativa assume-se como vantajosa aquando da integração em postos de tarefas manuais na melhoria da produtividade e das condições ergonómicas. A presente dissertação reforça igualmente a importância da aplicação de princípios ergonómicos e de *Lean Production* aquando do design e implementação de postos de trabalho com robótica colaborativa.

Palavras-Chave

Estudo de tempos, Criação de Valor, Impacto ergonómico, Interação Humano-Máquina, Trabalho manual, Risco musculoesquelético, Robótica colaborativa

ABSTRACT

Production impact of collaborative *robotics* cells in manually operated stations

Collaborative *robotics* solutions where humans and *robots* share their tasks have been entering the market allowing to combine the advantages and potential of *robots* in terms of their precision, speed and repeatability with the cognitive and flexible capabilities of human beings. This integration for the creation of a new productive system will be all the more effective as it adapts to the needs of the jobs and meets the needs of both production and the people who run it. In this sense, this dissertation analyzes two case studies in the assembly section of a furniture production factory. The objective is to evaluate the impact of the installation, in productive and ergonomic terms, resulting from the implementation of a collaborative system at the pre-assembly station (Case study 1) and the potential of the implementation in a prospective study conducted at the Cold Press station (Case study 2).

The project started with a critical analysis of the current situation in the assembly section, using the Ergonomic Value Stream Mapping (ErgoVSM) tool and, subsequently, four types of analysis: time studies; application of the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method; and collecting workers' perceptions of *robotics* in an industrial environment and / or the ergonomics of their workplace. The implementation of collaborative *robotics* at the pre-assembly station, achieved with an investment of 90921.48€, allowed to reduce the cycle time of the references under analysis by about 4.2% and 7.8% as well as the weighted RULA score by about 5.0%. Regarding its influence on assembly, the system created allows the daily glue consumption per pallet to be reduced by 7%, as well as the RULA score to be reduced by 8.7%. In the second case study, being a prospective study, the proposals presented to the company (including the application of the RULA method) were analyzed and the potential for implementing a collaborative cell at the Cold Press post was estimated, which is the most impactful of the task of reaching and stacking HDF frames / boards.

The results obtained demonstrated that collaborative *robotics* assumes itself as an advantage when integrating into manual task posts in improving productivity and ergonomic conditions. This dissertation also reinforces the importance of applying ergonomic principles and Lean Production when designing and implementing workstations with collaborative *robotics*.

Keywords

Collaborative *robotics*, Human-Machine Interaction, Manual labour, musculoskeletal risk, Study of times, Value creation, Ergonomic impact

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas.....	xvi
Lista de Siglas e Acrónimos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia de Investigação.....	4
1.3.1. Caracterização da investigação.....	4
1.3.2. Gestão temporal da investigação.....	4
1.3.3. Estratégia utilizada na investigação.....	5
1.4 Estrutura da Dissertação.....	5
2. Revisão de bibliografia.....	7
2.1 Lean 6 Sigma.....	7
2.1.1. Introdução ao Lean.....	7
2.1.2. Os cinco princípios básicos.....	8
2.1.3. Ferramentas Lean.....	10
2.1.4. Desperdícios.....	11
2.1.5. Introdução ao 6 sigma.....	12
2.1.6. Uma nova abordagem de gestão.....	13
2.2 Indústria 4.0.....	15
2.3 Robótica Colaborativa.....	20
2.4 Avaliação da implementação de HRC: Técnicas e ferramentas utilizadas.....	26
2.4.1. Estudo dos tempos: Cronometragem.....	26
2.4.2. Análise de Pareto.....	28
2.4.3. Métodos de avaliação ergonómica.....	28

2.4.4.	ErgoVSM	33
3.	Colaboração entre Empresa e Laboratório de investigação.....	38
3.1	Empresa	38
3.2	Laboratório de investigação - DTx.....	39
4.	Análise e descrição da situação atual	41
4.1	Fluxo produtivo e ErgoVSM	41
4.2	Estudo de caso 1	43
4.2.1.	Secção de pré-montagem – Estudo de tempos.....	44
4.2.2.	Secção de pré-montagem – Estudo Ergonómico.....	57
4.2.3.	Secção de montagem	60
4.2.3.1.	Montagem completa	60
4.2.3.2.	Montagem Final.....	76
4.3	Estudo de caso 2	84
4.3.1.	Posto de trabalho Cold Press	85
4.3.2.	Montagem vertical: Gama B.....	88
5.	Apresentação e discussão de resultados – Estudo de Caso 1	92
5.1	Implementação na fábrica	92
5.2	Avaliação das perceções das trabalhadoras	98
5.2.1.	Perceções antes da implementação	101
5.2.2.	Perceções após a implementação	104
5.3	Avaliação do impacto na produção	109
5.4	Avaliação ergonómica.....	116
5.5	Influência na montagem vertical	118
6.	Análise e discussão de resultados – Estudo de caso 2.....	122
6.1	Comparação entre secções	122
6.2	Simulações dos postos de trabalho.....	124
6.3	Perceções das trabalhadoras das secções	126
6.4	Potencialidades da implementação de HRC na fábrica	129
7.	Conclusão	133

8. Bibliografia	136
Anexo 1 – Correções: Definição	140
Anexo 2 – RULA: Tabela	141
Anexo 3 - ErgoVSM: Distinção entre os níveis extremos da escala de classificação	145
Anexo 4 – Mapeamento genérico da produção de frames.....	147
Anexo 5 – Tarefas com cargas partilhadas	148
Anexo 6 – Folhas de cálculo para a cronometragem da PM inicial	149
Anexo 7 – Ajustamentos de dificuldade: tabela.....	152
Anexo 8 – Ajustamentos de dificuldade: PM inicial	154
Anexo 9 – Correções: Aplicação na PM	159
Anexo 10 – Ajustamentos de dificuldade: aplicação à <i>frame</i> A1_MC	161
Anexo 11 – Folhas de cálculo para a cronometragem da MC (<i>Frame</i> A1)	166
Anexo 12 – Ajustamentos de dificuldade: aplicação à <i>frame</i> A1_MF	168
Anexo 13 – Folhas de cálculo para a cronometragem da MF (<i>Frame</i> A1).....	173
Anexo 14 – RULA: Aplicação à <i>frame</i> B3_M.....	175
Anexo 15 – RULA: Aplicação à <i>frame</i> B2_M.....	184
Anexo 16 – Questionário: aplicação na PM	196
Anexo 17 – Ajustamentos de dificuldade: PM nova.....	202
Anexo 18 – Folhas de cálculo para a cronometragem da PM nova.....	206
Anexo 19 –RULA: PM nova	208
Anexo 20 –RULA: Aplicação à Montagem Completa e Final	209
Anexo 21 – <i>Cold Press</i> : características operacionais	211

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia Scrum	4
Figura 2 - Princípios Lean Thinking	9
Figura 3 - Taxa de defeitos vs Nível de Sigma (adaptado de Oke, 2012).....	13
Figura 4 - Integração da filosofia Lean e 6 Sigma na melhoria de um processo (retirado de C. Werkema, 2008).....	14
Figura 5 - Evolução Industrial ao longo do tempo (retirado de NetscanDigital, 2019).....	16
Figura 6 - Níveis de cooperação entre o Humano e um Cobot (Fonte: Bauer et al., 2016)	22
Figura 7 - Categorias de correções aplicáveis	28
Figura 8 - Sistema de pontuação para o braço segundo o RULA (adaptado de McAtamney & Nigel Corlett (1993))	31
Figura 9 - ErgoVSM: matriz para a avaliação do WCP (Passo I) - Parte B.....	36
Figura 10 – Exemplificação da aplicação do ErgoVSM (adaptado de Jarebrant et al., 2016)	37
Figura 11 - Lista de materiais da frame A1.....	44
Figura 12 – Representação do posto da pré-montagem inicial	45
Figura 13 - Elemento da atividade - PM: Colocação das ripas na mesa de trabalho	47
Figura 14 - Elemento da atividade - PM: Escrever anotação	47
Figura 15 - Elemento da atividade - PM: Seleção de cubos	48
Figura 16 - Elemento da atividade - PM: Aplicação de cola.....	48
Figura 17 - Elemento da atividade - PM: Rotação das ripas.....	48
Figura 18 - Comparação de tempos normalizados (seg) _PM inicial: Ripa Simples, T1 e T2	52
Figura 19 - Comparação de tempos normalizados (seg) _PM inicial: Ripa Dupla, T1 e T2	52
Figura 20 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Simples - PM inicial	53
Figura 21 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Dupla - PM inicial	53
Figura 22 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos _ PM inicial.....	54
Figura 23 – Resultados da avaliação das tarefas da PM tradicional quanto ao esforço percebido (Fonte: Colim et al. (2020))	59
Figura 24 - Montagem Final vs Montagem Completa	60
Figura 25 - Operação pelas Trabalhadoras 3 e 4 na frame A1_MC	61
Figura 26 - Seleção e posicionamento dos cubos pelas trabalhadoras 3 e 4	62
Figura 27 - Representação esquemática da combinação de colagem pela Trabalhadora 3 e 4	63

Figura 28 - Comparação de tempos normalizados (seg) _ MC: A1 _{T3,T4}	65
Figura 29 - Representação da área de trabalho da MC e disposição do carrinho de abastecimento	66
Figura 30 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MC: A1 _{T3,T4}	67
Figura 31 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MC,T3 e T4	68
Figura 32 - Operação pelas Trabalhadoras 5 e 6 na frame A1_MC	68
Figura 33 - Seleção e posicionamento dos cubos pela Trabalhadora 5.....	69
Figura 34 - Representação esquemática da combinação de colagem pela Trabalhadora 5 e 6	70
Figura 35 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MC: A1 _{T5,T6}	72
Figura 36 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MC: A1 _{T5,T6}	73
Figura 37 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MC,T5 e T6	74
Figura 38 - Comparação dos tempos normalizados da MC entre as trabalhadoras	75
Figura 39 - Operação pelas Trabalhadoras 7, 8, 9 e 10 e 6 na frame A1_MF	76
Figura 40 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MF: A1 _{T7,T8}	79
Figura 41 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MF: A1 _{T7,T8}	80
Figura 42 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MF,T7 e T8	80
Figura 43 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MF: A1 _{T9,T10}	82
Figura 44 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MF: A1 _{T9,T10}	82
Figura 45 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MF,T9 e T10	83
Figura 46 - Comparação dos tempos normalizados da MF entre as trabalhadoras	84
Figura 47 - Representação do posto de Cold Press.....	86
Figura 48 - Modelo de produção das frames da gama B.....	89
Figura 49 - Braços colaborativos, Universal Robots série-e: UR10e	92
Figura 50 - Representação do posto da pré-montagem com a integração do cobot.....	93
Figura 51 - Representação do sistema colaborativo: Parte frontal.....	94
Figura 52 - Representação do sistema colaborativo: Parte posterior	94
Figura 53 - Representação do sistema colaborativo: Parte central.....	94
Figura 54 - Comparação dos tempos praticados (seg/ciclo) na colaboração: Fase de Teste	97
Figura 55 – Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=4) - PM	102
Figura 56 – Distribuição relativa das respostas acerca de (a) identificação dos conceitos mais associados à robótica tradicional e (b) aplicabilidade desta - PM	103

Figura 57 – Distribuição absoluta das respostas acerca das características atribuídas aos robots tradicionais e colaborativos (n=4) - PM.....	103
Figura 58 – Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um cobot (n=4)	104
Figura 59- Distribuição absoluta das respostas acerca da importância de certos requisitos na aceitação para a colaboração entre humanos e cobots (n=4)	104
Figura 60 - Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=4) – 2ª aplicação na PM.....	105
Figura 61 - Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um cobot (n=4) – 2ª aplicação na PM.....	106
Figura 62 – Comparação entre a distribuição das médias das pontuações obtidas no método EWA entre a PM inicial e a PM colaborativa	107
Figura 63 - Resultados da avaliação das tarefas da PM colaborativa quanto ao esforço percebido (n=4) (Fonte: Colim et al. (2020))	108
Figura 64 – Resultados da avaliação geral ao novo posto de PM colaborativa	108
Figura 65 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Simples - PM nova	112
Figura 66 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Dupla - PM nova	112
Figura 67 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos _ PM nova	112
Figura 68 - Comparação entre a aplicação de cola automática e manual	115
Figura 69 – Exemplo de posturas adotadas na PM colaborativa nos elementos de (a) Virar a ripa, (b) Retirar as ripas da mesa e (c) Acionar o sistema	116
Figura 70 - Análise comparativa do RULA ponderado entre a PM inicial e a PM nova	117
Figura 71 – Exemplos de posturas adotadas na (a) Montagem Final e (b) Montagem completa	118
Figura 72 - Análise comparativa do RULA ponderado entre a MF e MC	119
Figura 73 - Proposta de soluções colaborativas para o posto da montagem	124
Figura 74 - Proposta de soluções colaborativas para o posto de Cold Press	126
Figura 75 - Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=10)	127
Figura 76 - Distribuição relativa das respostas acerca de (a) identificação dos conceitos mais associados à robótica tradicional e (b) aplicabilidade desta	127

Figura 77 - Distribuição absoluta das respostas acerca das características atribuídas aos robots tradicionais e colaborativos (n=10).....	128
Figura 78 - Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um cobot (n=10)	128
Figura 79 - R Distribuição absoluta das respostas acerca da importância de certos requisitos na aceitação para a colaboração entre humanos e cobots (n=10).....	129
Figura 80 - Mapeamento das operações para a produção de frames	147
Figura 81 – PM inicial: Folha de cálculo para a RS_{T1}	149
Figura 82 – PM inicial: Folha de cálculo para a RS_{T2}	150
Figura 83 – PM inicial: Folha de cálculo para a RD_{T1}	151
Figura 84 – PM inicial: Folha de cálculo para a RD_{T2}	151
Figura 85 - Ajustamentos de dificuldade para avaliação objetiva do desempenho, segundo Mundel (1955)	152
Figura 86 - Ajustamentos de dificuldade em função da duração da força exercida expressa em percentagem da duração do ciclo (calculada a partir dos tempos observados médios), segundo Mundel (1955)	153
Figura 87 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RS_{T1}	154
Figura 88 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RS_{T2}	155
Figura 89 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RD_{T1}	157
Figura 90 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RD_{T2}	158
Figura 91 - Correções Variáveis de Repouso (numéricas) aplicadas na Ripa Simples.....	159
Figura 92 - Correções Variáveis de Repouso (numéricas) aplicadas na Ripa Dupla	160
Figura 93 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - $A1_{T3}$	165
Figura 94 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - $A1_{T4}$	165
Figura 95 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - $A1_{T5}$	165
Figura 96 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - $A1_{T6}$	165
Figura 97 - MC: Folha de cálculo para a $A1_{T4}$	166
Figura 98 – MC: Folha de cálculo para a $A1_{T3}$	166
Figura 99 – MC: Folha de cálculo para a $A1_{T3}$	166
Figura 100 – MC: Folha de cálculo para a $A1_{T5}$	167
Figura 101 – MC: Folha de cálculo para a $A1_{T6}$	167
Figura 102 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - $A1_{T7}$	172

Figura 103 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1 _{T8}	172
Figura 104 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1 _{T9}	172
Figura 105 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1 _{T10}	172
Figura 106 - MF: Folha de cálculo para a A1 _{T7}	173
Figura 107 - MF: Folha de cálculo para a A1 _{T8}	173
Figura 108 - MF: Folha de cálculo para a A1 _{T9}	174
Figura 109 - MF: Folha de cálculo para a A1 _{T10}	174
Figura 110 - RULA_ B3: Elemento 1	175
Figura 111 - RULA_ B3: Elemento 2	176
Figura 112 - RULA_ B3: Elemento 3	177
Figura 113 - RULA_ B3: Elemento 4/10/12	178
Figura 114 - RULA_ B3: Elemento 5/7/9/13	179
Figura 115 - RULA_ B3: Elemento 6/8	180
Figura 116 - RULA_ B3: Elemento 11/14	181
Figura 117 - RULA_ B3: Elemento 15	182
Figura 118 - RULA_ B3: Elemento 16	183
Figura 119 - RULA_ B2: Elemento 1	184
Figura 120 - RULA_ B2: Elemento 2	185
Figura 121 - RULA_ B2: Elemento 3	186
Figura 122 - RULA_ B2: Elemento 4/5/11/16	187
Figura 123 - RULA_ B2: Elemento 6/7	188
Figura 124 - RULA_ B2: Elemento 8/12/14/17	189
Figura 125 - RULA_ B2: Elemento 9	190
Figura 126 - RULA_ B2: Elemento 10	191
Figura 127 - RULA_ B2: Elemento 13/18	192
Figura 128 - RULA_ B2: Elemento 15	193
Figura 129 - RULA_ B2: Elemento 19	194
Figura 130 - RULA_ B2: Elemento 20	195
Figura 131 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte I.....	196
Figura 132 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte II.....	197
Figura 133 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte III.....	198
Figura 134 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte IV.....	199

Figura 135 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte V.....	200
Figura 136 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte VI.....	201
Figura 137 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RS _{T1}	202
Figura 138 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RS _{T2}	203
Figura 139 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RD _{T1}	204
Figura 140 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RD _{T2}	205
Figura 141 - PM nova: Folha de cálculo para a RS _{T1}	206
Figura 142 - PM nova: Folha de cálculo para a RS _{T2}	206
Figura 143 - PM nova: Folha de cálculo para a RD _{T2}	207
Figura 144 - PM nova: Folha de cálculo para a RD _{T1}	207
Figura 145 - Avaliação RULA: PM nova.....	208
Figura 146 - RULA: Aplicação à Montagem Completa.....	209
Figura 147 - RULA: Aplicação à Montagem Final.....	210
Figura 148 - Características operacionais da Cold Press com base no produto final.....	211

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Principais novas tecnologias da Indústria 4.0 (adaptado de Magalhães & Vendramini, 2018)	17
Tabela 2 - Casos de estudo sobre a aplicação de cobots nas indústrias	25
Tabela 3 - Fases de um estudo de tempos normalizados por cronometragem	27
Tabela 4 - Casos de estudo sobre a aplicação de métodos de avaliação ergonómica em postos de trabalho robotizados	32
Tabela 5 - ErgoVSM: critérios para a avaliação da Parte A	34
Tabela 6 - ErgoVSM: critérios para a avaliação da Parte B	35
Tabela 7 - ErgoVSM: escala para a avaliação do PEP (Passo I) - Parte B	35
Tabela 8 - Aplicação da ferramenta ErgoVSM em postos manuais da montagem de frames	42
Tabela 9 - Decomposição da atividade da pré-montagem em elementos	46
Tabela 10 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM inicial) – RS	50
Tabela 11 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM inicial) – RD	51
Tabela 12 - Relação dos elementos com a sua agregação de valor	54
Tabela 13 - Tempos não produtivos durante um dia de trabalho – PM inicial	56
Tabela 14 - Correções aplicáveis na pré-montagem inicial	56
Tabela 15 - Tempos padrão (em segundos) dos elementos e de ciclo – PM inicial	57
Tabela 16 – Resultados da avaliação RULA e do KIM-MHO no posto de pré-montagem inicial (Fonte; Colim et. Al (2020))	58
Tabela 17 – Resultados da aplicação do método EWA na PM inicial (Fonte: Colim et al. (2020))	58
Tabela 18 - Decomposição em elementos das atividades da MC_ Trabalhadora 3 e 4	62
Tabela 19 – Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MC): A1 _{T3,T4}	64
Tabela 20 - Decomposição em elementos das atividades da MC_ Trabalhadora 5 e 6	69
Tabela 21 – Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MC): A1 _{T5,T6}	71
Tabela 22 - Capacidade de produção atual MC para um NPC de 40 frames/hora	75
Tabela 23 - Decomposição em elementos das atividades da MF_ Trabalhadora 7,8,9 e 10	77
Tabela 24 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MF): A1 _{T7,T8}	78
Tabela 25 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MF): A1 _{T9,T10}	81
Tabela 26 - Capacidade de produção atual MF para um NPC de 70 frames/hora	83
Tabela 27 - Postos de Trabalho da secção de Cold Press	85
Tabela 28 - Decomposição em elementos das atividades da CP_ Trabalhadora 11 e 12	87

Tabela 29 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na Cold Press	88
Tabela 30 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na frame B3	89
Tabela 31 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na frame B2	90
Tabela 32 - Estudo dos tempos de ciclo da PM: Fase de teste	95
Tabela 33 - Análise comparativa de elementos da PM: Fase de teste	96
Tabela 34 - Estudo dos tempos do dispensador da PM: fase de teste	96
Tabela 35 - Resumo da estrutura do questionário aplicado às trabalhadoras da PM.....	99
Tabela 36 - Decomposição da atividade da nova pré-montagem em elementos.....	109
Tabela 37 - Parâmetros dos tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM nova) – RS	110
Tabela 38 - Parâmetros dos tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM nova) – RD.....	110
Tabela 39 - Tempos não produtivos durante um dia de trabalho – PM nova.....	113
Tabela 40 - Correções aplicáveis na pré-montagem nova.....	114
Tabela 41 - Tempos padrão (em segundos) dos elementos e de ciclo – PM nova.....	114
Tabela 42 - Resultados comparativos da pré-montagem (RS- Ripa Simples, RD- Ripa Dupla)	115
Tabela 43 - Resultados comparativos da montagem	121
Tabela 44 - Análise comparativa entre a montagem manual (gama B) e a Cold Press	123
Tabela 45 - Variantes da produção em duplo no Cold Press	125
Tabela 46 - Aplicação do algoritmo de avaliação rápida do potencial de HRC no posto da Cold Press.....	131
Tabela 47 - Tipos de correções aplicáveis existentes	140
Tabela 48 - RULA: Grupo A	141
Tabela 49 - RULA: Grupo B.....	142
Tabela 50 - Fases da metodologia RULA	144
Tabela 51 - Distinção entre os níveis 1 e 10 da ferramenta ErgoVSM – Parte A.....	145
Tabela 52 - Distinção entre os níveis 1 e 10 da ferramenta ErgoVSM – Parte B	146
Tabela 53 - Descrição das cargas nas tarefas partilhadas.....	148
Tabela 54 - Ajustamentos de dificuldade aplicados –PM inicial da RS _{T1}	154
Tabela 55 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM inicial da RS _{T2}	155
Tabela 56 - Ajustamentos de dificuldade aplicados – PM inicial da RD _{T1}	156
Tabela 57 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM inicial da RD _{T2}	158
Tabela 58 - Correções Variáveis de Repouso aplicadas na Ripa Simples	159
Tabela 59 - Correções Variáveis de Repouso aplicadas na Ripa Dupla	160
Tabela 60 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC: A1 _{T3}	161

Tabela 61 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1 _{T4}	162
Tabela 62 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1 _{T5}	163
Tabela 63 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1 _{T6}	164
Tabela 64 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1 _{T7}	168
Tabela 65 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1 _{T8}	169
Tabela 66 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1 _{T9}	170
Tabela 67 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1 _{T10}	171
Tabela 68 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 1.....	175
Tabela 69 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 2.....	176
Tabela 70 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 3.....	177
Tabela 71 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 4, 10 e 12.....	178
Tabela 72 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 5, 7, 9 e 13	179
Tabela 73 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 6 e 8.....	180
Tabela 74 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 11 e 14.....	181
Tabela 75 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 15.....	182
Tabela 76 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 16.....	183
Tabela 77 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 1	184
Tabela 78 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 2.....	185
Tabela 79 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 3.....	186
Tabela 80 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 4, 5, 11 e 16	187
Tabela 81- RULA_ B2: Aplicação ao elemento 6 e 7	188
Tabela 82 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 8, 12, 14 e 17	189
Tabela 83 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 9.....	190
Tabela 84 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 10.....	191
Tabela 85 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 13 e 18.....	192
Tabela 86 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 15.....	193
Tabela 87 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 19.....	194
Tabela 88 - RULA_ B2: Aplicação ao elemento 20.....	195
Tabela 89 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RS _{T1}	202
Tabela 90 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RS _{T2}	203
Tabela 91 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RD _{T1}	204
Tabela 92 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RD _{T2}	205

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

- A1: *Frame* lateral da gama A com a referência 1
- A1_{T3}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 3
- A1_{T4}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 4
- A1_{T5}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 5
- A1_{T6}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 6
- A1_{T3,T4}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 3 e 4
- A1_{T5,T6}: Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 5 e 6
- B2: *Frame* lateral da gama B com a referência 2
- B3: *Frame* tampo grande da gama B com a referência 3
- CP: Secção da empresa de *Cold Press*
- HRC: Colaboração entre humanos e *robots* (do inglês, *human-robot collaboration*)
- KPI: Indicadores do processo (do inglês, *key-process indicators*)
- LMERT: Lesões músculoesqueléticas relacionadas com o trabalho
- MC: Montagem Completa
- MF: Montagem Final
- NPC: Número de Peças por Ciclo
- nV: Atividade sem valor acrescentado na ótica do cliente final
- nVN: Atividade sem valor acrescentado mas necessária na ótica do cliente final
- PM: Pré-Montagem
- PCI: Fator crítico do processo
- RS_{T1}: Produção da Ripa Simples pela Trabalhadora 1
- RS_{T2}: Produção da Ripa Simples pela Trabalhadora 2
- RD_{T1}: Produção da Ripa Dupla pela Trabalhadora 1
- RD_{T2}: Produção da Ripa Dupla pela Trabalhadora 2
- RULA: Avaliação rápida do membro superior
- SME: Sintomatologia musculoesquelética
- SPOP: Sistema de produção orientado ao produto
- TP,: Taxa de produção de referência
- TT,: Takt time de referência
- V: Atividade com valor acrescentado na ótica do cliente final

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação desenvolve-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial na Universidade do Minho, tendo sido realizada numa empresa de produção de móveis. Neste capítulo será apresentado o contexto da investigação, a motivação que levou ao desenvolvimento deste trabalho, os objetivos previstos para o decorrer do projeto bem como a organização do documento.

1.1 Enquadramento

Cada vez mais é importante perceber que a base das organizações são as pessoas que as integram e, como tal, o futuro destas está orientado não só para a procura de formas de melhoria contínua nos processos e produtos, levando ao aumento da produtividade, mas também na redução da fadiga e melhoria da saúde dos trabalhadores (Westgaard & Winkel, 1996).

Assim sendo, e visando o sucesso das organizações, as entidades empregadoras são orientadas para esta questão do bem-estar dos trabalhadores e da adaptação do trabalho ao Homem, especialmente no que se refere à «conceção dos postos de trabalho, à escolha de equipamentos de trabalho e aos métodos de trabalho e produção, com vista a, nomeadamente, atenuar o trabalho monótono e o trabalho repetitivo e reduzir os riscos psicossociais» (Lei n.º 102/2009). Desta forma, estas diretrizes surtem efeito no sentido de minimizar as horas de trabalho perdidas e custos associados às lesões musculoesqueléticas.

Para Tharmmaphornphilas e Norman (2007) , para prevenir as doenças ocupacionais existem três vertentes sendo que a que importa salientar são as soluções de engenharia, como a reconceção do posto de trabalho/ferramentas e automação. Assim, através da análise ergonómica com foco no que é plausível de suscitar lesões, seja por esforços intensos, movimentos repetitivos, entre outros, é possível tomar medidas ponderadas para eliminar ou reduzir estes fatores que o curto ou longo prazo poderão comprometer o bom funcionamento de todo o processo.

Com o avanço da globalização nos dias atuais, as indústrias de manufatura têm lidado com cenários dinâmicos e desafiadores. Começando na necessidade de elevados índices de produtividade a custos menores e passando pela rivalidade e competição existente entre empresas da mesma área, importa marcar uma posição no mercado que lhes permita dar respostas mais rápidas, a menor custo e mais eficientes, reduzindo tudo o que são desperdícios e não acrescenta valor. Neste sentido, o *Lean Manufacturing* é uma abordagem às necessidades das organizações que se tem destacado nos últimos

60 anos como modelo de sistema de produção eficiente, buscando maior participação do cliente ao longo da cadeia de valor, resultando em mais qualidade e maior produtividade com menores custos (Bhamu & Sangwan, 2014).

Aliado à necessidade crescente de mecanismos internos de desenvolvimento e melhoria de processos tais como o redimensionamento de postos de trabalho e/ou reestruturação de linhas/células de trabalho, a necessidade de meios que garantam uma maior precisão, não comprometendo segurança para o ser humano, tem igual importância face às exigências do mercado atual. As soluções robóticas demonstram-se como uma opção considerada pelas empresas no tocante a melhorias da qualidade, produtividade e no bem-estar laboral dos trabalhadores. Segundo as estimativas fornecidas pela Federação Internacional de Robótica (2018), estas indicavam que até 2019 a procura anual de *robots* a nível mundial iria crescer, em média, 13%/ano, sendo o valor final estimado de 2.6 milhões de *robots* industriais em operação em 2019. Contudo, as soluções colaborativas, onde humanos e *robots* partilham as suas capacidades, estão a entrar no mercado e estão a tornar-se uma nova frente com elevado potencial na área da robótica. O seu alcance é suportado pela corrente tendência da automação e troca de informação nas tecnologias de manufatura, inerentes à Indústria 4.0, visando alcançar eficiência, a custo reduzido com melhorias na produtividade através da integração da automação, ainda que parcial.

Se por um lado os *robots* tradicionais têm de ser confinados a zonas de segurança fora do alcance direto dos trabalhadores, são pouco eficientes no que toca a adaptações dinâmicas no ambiente de trabalho dada a sua baixa versatilidade e flexibilidade e exigem um elevado nível de programação por pessoas experientes, os *robots* colaborativos (*cobots*) permitem uma interação direta entre estas duas partes. Desta forma, é possível o seu trabalho lado a lado o que se significa que a produtividade do trabalhador é melhorada enquanto o seu stress e fadiga são reduzidos. Mais uma vez importa salientar que esta solução beneficia ambas as partes pois permite combinar as vantagens dos *robots* tais como altos níveis de precisão, velocidade, repetibilidade, com a flexibilidade e conhecimento cognitivo/racional dos seres humanos de forma segura.

Atualmente pode-se verificar, então, que a *robotização* de processos, ainda que parcial, pode trazer vantagens não só competitivas mas como para o bem-estar ocupacional daqueles que as executam e que, como tal, devem ser alvos de estudos, análises e reflexões de modo a serem implementadas no seu máximo potencial, não trazendo riscos e eliminando tudo aquilo que não trará mais-valias para o consumidor final.

1.2 Objetivos

Inserido no projeto de dissertação do mestrado integrado em Engenharia e Gestão Industrial em contexto real, o presente trabalho enquadra-se numa empresa de mobiliário mais precisamente no setor de produção de *frames*. Enquadrada num projeto colaborativo desenvolvido pelo DTx - Colab que tem por objetivo a investigação aplicada a diferentes áreas associadas à transformação digital e, no caso concreto, à criação de células robóticas para apoiar trabalhadores na realização de tarefas manuais repetitivas, esta dissertação passará por avaliar o impacto que a implementação de um *robot* colaborativo tem ao nível da produção, nomeadamente do fluxo produtivo que irá impor, *layout* e produtividade, bem como na satisfação sobre o próprio posto de trabalho.

Este projeto tem como principal propósito avaliar de que maneira a implementação de um *robot* colaborativo influencia a produtividade de um posto de montagem manual. Como contributo principal, pretende-se assegurar a maior eficiência dos sistemas colaborativo, garantindo que as condições de trabalho e a produtividade melhoram, assegurando sempre que o sistema se manterá flexível e adaptável a situações semelhantes. Um outro contributo é também demonstrar que a implementação de um *robot* colaborativo poderá ser vantajoso noutras áreas semelhantes do mesmo tipo de indústria.

Assim, de modo a cumprir o objetivos expostos, definiram-se os seguintes objetivos parciais:

1. Mapear o processo atual e aplicar a ferramenta ErgoVSM;
2. Analisar o fluxo produtivo nos postos de trabalho;
3. Perceber, caso existam, restrições que limitem a implementação dos *cobots*;
4. Medir/definir indicadores de desempenho antes e após a implementação e/ou esperados do *cobot*;
5. Comparar os estados atuais e futuros do posto de trabalho;
6. Elaborar propostas de melhoria futuras assim como a implementação da tecnologia colaborativa noutros postos de trabalho.

Tendo em vista uma melhor orientação do projeto de investigação por forma a serem alcançados os objetivos apresentados, a pergunta central de todo o projeto incidirá acerca de como otimizar o fluxo produtivo inerente à implementação do *robot* colaborativo, tendo por base as atividades executadas pelas trabalhadoras destes postos sob a premissa de que se quer criar/melhorar a sua situação de trabalho.

1.3 Metodologia de Investigação

1.3.1. Caracterização da investigação

O projeto de investigação em causa irá ter por base os conceitos da metodologia de investigação “*Action Research*”, também designada de “Investigação-Ação”, uma vez que se trata de uma investigação inserida num contexto prático (secção de produção de *frames* do empresa). Neste tipo de metodologia, a resolução de problemas operacionais bem como a obtenção da respetiva base teórica é consequente das várias ações concretizadas ao longo do período de investigação. Sendo caracterizada por ser uma metodologia flexível, esta permite que a investigação possa tomar distintos rumos no decorrer da sua aplicação, em função dos problemas que vão sendo encontrados uma vez que os resultados das ações são analisados e tidos em conta nas fases consequentes, sendo, por isso, necessário realizar sempre uma reflexão sobre as ações tomadas em todas as fases do processo (Toledo et al., 2014).

1.3.2. Gestão temporal da investigação

Em paralelo, para este projeto também foi aplicada uma metodologia ágil designada de *Scrum*. A metodologia ágil é uma filosofia que propõe alternativas à gestão de projetos tradicional e tem a função de aperfeiçoar o processo de desenvolvimento de um produto ou serviço sendo que o objetivo final é fazer entregas com rapidez e com maior frequência (Bissi, 2007).

Por sua vez, a metodologia *Scrum* foi criada com o intuito de serem os ciclos de *feedback* a constituírem o núcleo da técnica de gestão, isto é, o seu foco é feito limitado a intervalos de tempo pré-estabelecidos dentro dos quais existem tarefas pré-planeadas que devem ser executadas – Figura 1.

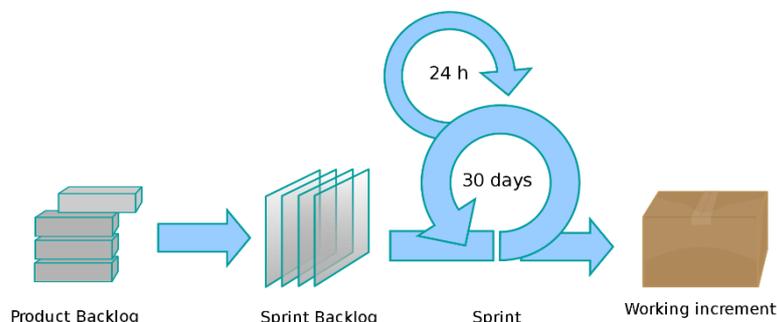


Figura 1 - Metodologia Scrum

1.3.3. Estratégia utilizada na investigação

De modo a cumprir a metodologia apresentada, e estabelecidos os *sprints* com uma periodicidade semanal, definiram-se as seguintes etapas globais para o projeto:

1. Revisão bibliográfica - análise de artigos académicos, artigos científicos, dissertações/teses e outra documentação pertinente acerca do tema de modo a adquirir conceitos e fundamentos que funcionem como suporte teórico e técnico para o projeto;

2. Análise do estado atual da atividade de produção de *frames* de forma manual - representação gráfica do fluxo produtivo, recolha de dados de produção inerentes ao estudo de tempos dos postos de trabalho em análise, análise postural, respetivo estudo do valor acrescentado para as tarefas analisadas, *layout* e fluxo produtivo;

3. Descrição e análise da fase de desenvolvimento e fase de testes da solução colaborativa para cada situação - recolha de informação acerca das melhorias previstas para a implementação do *robot* colaborativo;

4. Estudo da eficiência real do processo - nova representação gráfica do fluxo produtivo, estudo do *layout*, nova recolha de dados de produção;

5. Comparação entre as vantagens teóricas e práticas da contribuição do *robot* colaborativo;

6. Escrita e revisão da dissertação – no decorrer do projeto pretendeu-se registar toda a evolução do estudo, apresentando conclusões finais sobre o projeto.

1.4 Estrutura da Dissertação

O presente documento encontra-se dividido em oito capítulos.

No primeiro capítulo é esclarecido o enquadramento e metodologias de investigação aplicadas ao projeto de dissertação bem como os objetivos previamente definidos.

No segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica sobre os temas subjacentes ao presente projeto assim como os conceitos da metodologia Lean 6 sigma, Indústria 4.0 e Robótica colaborativa.

No capítulo terceiro, é apresentada a indústria onde foi realizado o estágio curricular, apresentando-se a empresa, a sua filosofia, presença a nível mundial e gamas de produtos, bem como o laboratório de investigação ao qual o projeto da dissertação esteve associado.

O quarto capítulo é dividido em dois subcapítulos relativos a dois casos de estudo diferentes. Cada um destes casos está associado a uma gama de produtos e será nesta fase que irá ser apresentada a descrição crítica da situação atual baseada em estudos de tempos, análise do *layout* dos postos de trabalho envolvidos, bem como práticas recorrentes das trabalhadoras que lá operam.

No quinto capítulo descreve-se o desenvolvimento de soluções e a consequente fase de testes do estudo de caso implementado assim como a recolha de perceções das trabalhadoras, com base num questionário, sobre robótica e questões ergonómicas, pré e pós operação colaborativa. Também será aqui que se apresentarão os novos resultados obtidos da célula colaborativa e se fará a interligação das tarefas da pré-montagem com a montagem vertical.

O antepenúltimo capítulo é dedicado à descrição da solução prospetiva, soluções propostas à empresa e avaliação do potencial das tarefas na interação *Humano-Robot*.

No capítulo sete é feita a conclusão geral de todo o projeto onde se expõe os principais contributos da presente dissertação, as limitações sentidas e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, apresenta-se a referenciação bibliográfica utilizada ao longo de toda a dissertação sendo sucedida pelos anexos, onde estão demonstradas folhas de cálculo, templates de tabelas dos métodos utilizados, questionário aplicado, mapeamento genérico dos processos envolvidos e abordados na dissertação assim como resultados de análises ergonómicas praticadas.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo irá ser feita uma revisão bibliográfica sobre os conteúdos implementados e aplicados no decorrer deste projeto. Irá ser explorada a filosofia inerente à metodologia do Lean 6 sigma, o impacto da Indústria 4.0 no mundo atual bem como a recente realidade de robótica colaborativa e o seu papel na produção junto dos trabalhadores.

2.1 Lean 6 Sigma

2.1.1. Introdução ao Lean

Este conceito amplamente usado e abordado nos dias de hoje, quer seja relacionado com a indústria quer com os próprios serviços, teve origem no final da década de 40, aquando do término da segunda guerra mundial no Japão e a derrota deste para os Estados Unidos. Dada a grande recessão e escassez de recursos face à derrota, foram Eiji Toyoda e o seu engenheiro Taiichi Ohno quem sentiram a necessidade de ir observar o modelo de gestão e produção Fordista, como principal oponente no mesmo segmento de mercado. Sob a premissa de que era necessário incutir uma filosofia empresarial que lhes trouxesse vantagem competitiva nos mercados para fazer frente à cultura rival, foi o sistema desenvolvido pela Toyota, vulgarmente designado de Toyota *Production Systems* (TPS), o pioneiro na visão da eliminação/redução daquilo que não agregava valor (desperdícios) bem como na melhor utilização dos próprios recursos e que representaria custos extras para o cliente final, os quais este não estaria satisfeito em assumi-los (Womack & Jones, 1997).

Apesar das vantagens internas sentidas pela empresa japonesa aquando da implementação e mudança cultural a que se estavam a sujeitar, este seu esforço não estava a ser devidamente suportado a nível teórico nem reconhecido pelos diversos segmentos de mercado. Assim, foi em 1990 que os autores Womack, Jones e Roos se designaram a transpor este esforço num livro que, até aos dias de hoje, é internacionalmente conhecido no mundo do *Lean Thinking*. “*The machine that changed the world*” (Correia, 2018). Neste livro é representado pela primeira vez o conceito de *Lean production*, a sua evolução, bem como a sua visão: fazer mais com menos (*doing more with less*). Evidenciam-se, assim, as vantagens do TPS, nomeadamente o encarar da produção no momento certo e na quantidade certa, conhecido como a produção *Just-in-Time* (JIT). Desta forma, o desenvolvimento de produtos não ficava comprometido. Esta nova política de gestão traduzia-se numa redução do tempo de percurso, de

stocks, de esforço humano, de *setup* e numa abordagem mais rápida ao desenvolvimento de novos produtos.

Mesmo existindo um grande potencial para esta nova forma de visão da produção ao nível da indústria automóvel, esta claramente era extensível a novas áreas. Contudo, quando confrontadas com os novos conceitos de *Lean*, muitas organizações não obtinham o sucesso que pretendiam a curto prazo pois não encaravam esta filosofia como um processo de aplicação e desenvolvimento contínuo (Kaplan et al., 2014). Por oposição, copiavam diretamente as ferramentas existentes em vez de as adaptarem aos seus próprios objetivos. O facto de as organizações não alcançarem os objetivos que ambicionavam explica-se pelo facto de todas as ferramentas desenvolvidas e utilizadas não serem um fim, mas unicamente um meio de atingir a visão definida pela empresa. Daí que a sua simples aplicação apenas traduzisse resultados pontuais ou localizados. Assim, é importante salientar que, mesmo sendo o *Lean Thinking* uma abordagem transversal a todas as indústrias, esta deve ser devidamente organizada e orientada a cada 'processo', devendo ser encarado como uma máxima de constante busca da perfeição para máximo benefício próprio.

O surgimento do *Lean* numa era de produção em massa trouxe consigo toda uma mudança ao nível cultural das organizações. Se até ao momento existia uma preocupação constante de produzir em grandes quantidades, produtos todos semelhante e de forma rápida, a preocupação de agora era eliminar tudo aquilo que não constituísse uma mais-valia para a produção por não acrescentarem nada ao processo e, mesmo assim, contribuírem para o aumento do custo de um produto na sua fase final. Tal era conseguido como o esforço contínuo das equipas envolvidas, sendo estas de alto ou baixo nível, levando ao funcionamento da organização como um todo. Segundo Ohno (1997), para o sucesso deste sistema de produção, as diversas equipas deviam ser devidamente treinadas de modo a desenvolverem as suas habilidades, tendo isto impacto na sua atitude pois passariam a valorizar a sua experiência e conhecimento de trabalho, aproveitando soluções que oferecem oportunidades para melhorar o processo.

2.1.2. Os cinco princípios básicos

Segundo Womack e Jones (1997), a abordagem para a melhoria contínua dos processos e identificação dos entraves para a perfeição assenta em 5 princípios, representados na Figura 2.

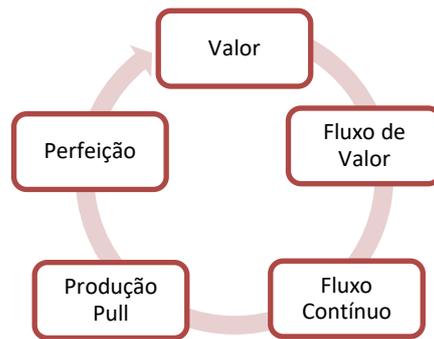


Figura 2 - Princípios Lean Thinking

A abordagem começa com a identificação do valor para o cliente, isto é, tudo aquilo que ele está disposto a pagar aquando da requisição e aquisição do produto final. Valor engloba as características intrínsecas ao produto e processo que no final satisfazem as necessidades do cliente final num produto específico. Do ponto de vista do cliente, é o valor que o produtor dá e/ou recria num certo produto que determina a variedade de soluções que o mercado tem para oferecer num dado instante de tempo. É, então, decisivo, as empresas garantirem que atendem às necessidades dos clientes (a curto e longo prazo), tem um processo capaz de as suportar originando um produto com qualidade a um preço que o cliente final estará disposto a pagar (Womack & Jones, 1997). Para tal acontecer, importa reduzir ou eliminar todas e quaisquer atividades que não agreguem valor, sob o ponto de vista do cliente, as quais Ohno (1988) atribui o nome de desperdícios ou *muda*.

Tendo identificado o que representa o valor, importa mapear o processo e identificar a relevância das atividades de acordo com a sua contribuição valorativa no processo, podendo-se distinguir três tipos de atividades:

- Atividades que acrescentam valor: são as que importam manter e aproveitar o seu máximo potencial pois são aquelas que têm maior peso para o cliente final;
- Atividades que não acrescentam valor: traduzem aquelas que importa eliminar ou, na impossibilidade, reduzir ao máximo já que levam ao aumento do tempo de percurso dos produtos sem agregarem qualquer valor ao produto final;
- Atividades que não acrescentam valor mas são necessárias: são todas e quaisquer atividades que, não tendo importância direta no processo, são inevitáveis para a criação do produto final como é o caso da manutenção e controlo de qualidade. Por oposição às anteriores, estas não podem ser eliminadas mas, se possível, reduzidas e alvo de estudos para tentar incluir outro tipo de abordagens mais proveitosa para a sua substituição.

De acordo com os autores Hines, Holweg & Rich (2004), quando se conseguem reduzir os custos de produção através da eliminação de processos/atividades que não agregam valor ao produto final, é possível oferecer condições atrativas para os clientes como forma de vantagens competitivas de valor.

O fluxo contínuo visa a fluidez dos processos e atividades através do envolvimento das pessoas da empresa e da mudança de paradigma cultural, previamente abordado. Engloba, mais uma vez, a produção contínua e sem *stocks* com o objetivo da criação de um fluxo ininterrupto de valor.

Também associado à produção JIT, está inerente o conceito de produção *pull*. Tal refere-se à produção puxada pelo cliente, ao invés de se produzir para *stock*. Desta vez, é a procura por parte do consumidor final que desencadeia o arrancar a produção, na quantidade requerida por um dado instante de tempo sendo a gestão de recursos e materiais feita aquando desta solicitação.

Por fim, a máxima de constante adaptação, constantes requisitos e melhoria contínua está implícita na busca da perfeição dos processos, bem como de produtos e serviços intrínsecos à produção (manutenção, gestão da cadeia de abastecimento, etc.). É esta a máxima que deve guiar as empresas, partindo do princípio que nada é perfeito e tudo pode ser melhorado, admitindo que as necessidades do mercado desde o nível tecnológico a inovador não é estático.

2.1.3. Ferramentas Lean

Várias são as ferramentas que poderão ser usadas quando as empresas pretendem inculcar uma filosofia *Lean* nas suas organizações. Estas ferramentas são os instrumentos para implementação e manutenção do sistema de produção *pull* e a sua aplicação possibilita a criação de um fluxo contínuo de valores ao eliminar os desperdícios. As principais ferramentas são:

- *Value Stream Map* (VSM), cuja função é representar o mapeamento da cadeia de valor, analisar o fluxo produtivo e inter dependências (Rother & Shook, 1998). Uma variante desta metodologia que pretende integrar a componente ergonómica na análise da cadeia de valor é a *Ergonomic Value Stream Map* (ErgoVSM) e irá ser abordada no subcapítulo seguinte (Jarebrant et al., 2016);

- *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), procura obter os índices de desempenho do sistema aliando a disponibilidade dos equipamentos, a rapidez da produção e quantidades de defeitos que são aí produtivos, procurando criar um ambiente de melhoria contínua pelo aumento da eficiência operacional (Nakajima, 1989);

- *Single Minute Exchange Die* (SMED), cuja função é procurar auxiliar na redução dos tempos de *setup* nas trocas de modelos na produção, bem como a própria preparação dos equipamentos do

processo e ferramenta usados nesta fase, garantindo a flexibilidade do sistema e o aumento da eficiência produtiva (Shingo, 2000);

- *Standard work*, que tem como objetivo estabelecer procedimentos em passos de simples execução, garantindo que todos os operários tem conhecimento sobre a forma correta de executar as tarefas, e que qualquer variabilidade no final do processo será devida a fatores externos ao sistema, tornando o planeamento e nivelamento mais fáceis de gerir face à procura (Emiliani, 2008).

2.1.4. Desperdícios

Para tal, para uma melhor consciencialização dos fatores que podem ser um entrave ao sucesso de uma implementação Lean, encontram-se de seguida enunciados os desperdícios considerados por diversos autores ao longo dos tempos (Faria, 2016):

- Sobre processamento: Traduz a realização de tarefas em excesso (ou incorretamente) que não acrescenta valor ao produto final. Pode acontecer pelo nível de trabalho nas operações ser superior ao que o cliente final valoriza ou, por outro lado, por existirem operações que só por si o cliente não valoriza (como é o caso de algumas inspeções);
- Superprodução: Ocorre quando se produz mais do que o necessário, por antecipação ou para *stock*. Poderá ser origem de muitos outros desperdícios, dado envolver movimentação de produtos para outras zonas da fábrica, tendo ou não defeitos que podem não ser logo detetados. Por norma, é um dos desperdícios diretamente relacionados com a limitação de potencial de um sistema, pois consegue esconder as fraquezas do mesmo, dificultando a sua otimização e melhoria;
- Espera: Corresponde à perda pelo tempo em que o produto não pode avançar devido a algum impedimento, como é exemplo a falta de componentes/ferramentas para a realização de uma tarefa por rutura de *stock* ou até mesmo o impasse em que um operador ficar quando está à espera que a uma dada máquina conclua a manipulação numa peça;
- Transporte: Corresponde às deslocações de componentes/produtos para locais que não fazem transformação ao produto;
- Movimentação: Refere-se a todas e quaisquer deslocações feitas pelos trabalhadores que não acrescentam valor ao produto, as quais o cliente final não está disposto a pagar;
- *Stock*: Representa a acumulação e estagnação de quantidades de matérias-primas, semiacabados ou produtos finais. A médio/longo prazo traduz capital parado numa empresa,

com custos de existência que, caso não sejam escoados, constituem uma perda monetária para esta;

- Defeitos: Representa qualquer parâmetro de um produto que não corresponde às especificações, podendo ser retrabalhado ou considerado lixo;
- Não aproveitamento humano: Identificado por Liker (2004), este traduz todo o não envolvimento dos operários, bem como a desconsideração do seu conhecimento e experiências no sistema produtivo.

2.1.5. Introdução ao 6 sigma

O conceito '6 sigma' traz consigo indexados conceitos ligados à área da estatística, variabilidade e padronização de processos e métodos. Esta nova vertente surgiu no final dos anos oitenta, pela Motorola, quando estes se depararam que, comparativamente à sua concorrência que usava o mesmo tipo de tecnologias, obtinham menor qualidade e maior custo. O seu desenvolvimento e implementação tinha como objetivo a fazer aumentar o padrão de qualidade e, como tal, aumentar a competitividade no mercado. Esta nova estratégia de gestão quantitativa para além de ser uma importante ferramenta de identificação e resolução de problemas tem como principais objetivos (Oke, 2012):

- Melhorar a qualidade dos produtos e/ou serviços;
- Reduzir os custos e;
- Aumentar o lucro da empresa.

Da letra grega σ (sigma) que denota o parâmetro de amplitude do desvio padrão de uma variável aleatória, o foco desta abordagem tem por base as variações não controláveis dos processos que, não sendo possível eliminar, devem estar em níveis controlados de modo a atingir-se o nível de 6 sigma de defeitos. No caso concreto da Motorola, este repararam que estavam a perder uma larga porção dos seus retornos e a baixar os níveis de produtividade através dos custos associados à má qualidade, em detrimento de manter os clientes que tinham e atrair novos. Aquando da análise que fizeram ao seu sistema, repararam que os níveis de qualidade que praticavam eram demasiado baixos comparativamente ao que pretendiam. Estando a produzir com o nível 3 sigma significava que a cada milhão de produtos acabados, existiam 66810 produtos defeituosos, num sistema com rendimento de 93.9% (considerando o desvio da média do processo de $\pm 1,5$). O objetivo passou a ser, então, expressar o patamar de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades (falhas críticas para o cliente), designado o 6 Sigma – Figura 3.

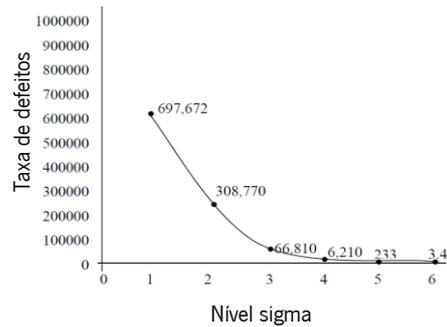


Figura 3 - Taxa de defeitos vs Nível de Sigma (adaptado de Oke, 2012)

À semelhança do que se passou aquando a introdução da metodologia Lean nas organizações, mais uma vez a gestão das organizações sofreu uma mudança de paradigma e teve de encarar este novo conceito do 6 Sigma como um programa de melhoria da qualidade que permitia lhes melhorar drasticamente o seu campo de trabalho (produtos, serviços e processos) através do (re)design e monitorização continua das suas atividades de forma a reduzirem desperdícios e recursos enquanto aumentavam a satisfação dos clientes.

Ao invés do que acontece com uma metodologia qualitativa, no 6 Sigma os projetos são conduzidos e liderados por pessoas treinadas e desenvolvidos em etapas para esse fim, seguindo o método DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) (Werkema, 2006). A primeira fase da metodologia (Definir), é onde se delimita e esclarece o objetivo do pro

jeto, bem como se definem medidores de desempenho (ou outras características específicas e mensuráveis relacionadas com o produto/processo) que possam influenciar o alcançar do objetivo proposto. Após se estabelecer um plano prévio de ação, importa medir (Medir) o desempenho atual o sistema/processo em estudo, recolhendo os dados quantitativos necessários. A terceira fase (Analisar) é a fase fulcral de todo o ciclo pois é aqui que se chega à raiz do problema e à causa desta, através da observação, sistematização de ideias e priorização das causas de acordo com a sua influência direta no sistema. Já as seguintes procuram discriminar todas as ações inerentes ao plano de melhoria e implementação das mesmas no projeto em questão (Melhorar) e monitorizar os resultados obtidos pós plano de ação das melhorias no controlo da sua eficácia no processo, com a finalidade de alcançar um novo ciclo de melhoria contínua (Controlar).

2.1.6. Uma nova abordagem de gestão

O Lean 6 Sigma (LSS) alia duas abordagens distintas numa única missão: melhoria contínua dos produtos (e/ou serviços) e processos que, aliados ao modelo de negócios, permitem maximizar o valor

dos produtos, reduzindo a variabilidade dos processos, eliminando desperdícios e melhorando a qualidade distinguida pelos clientes (Morais et al., 2015). A justificação para a combinação destas abordagens qualitativas e quantitativas, respetivamente, tem em conta as vantagens complementares de ambas.

De acordo com Werkema (2008), enquanto a filosofia Lean não tem associadas ferramentas para uma análise estatística ou um método estruturado para a resolução de problemas relacionados com a variabilidade de processos, o Seis Sigma não enfatiza a velocidade de melhoria de processos nem a redução do tempo de percurso (*lead time*) de um produto. Assim, usando os melhores pontos fortes de ambas as abordagens consegue-se obter um método de melhoria de processos pela redução da variação e do lead time enquanto se melhora a qualidade e velocidade do processo através da eliminação do que não agrega valor – Figura 4.

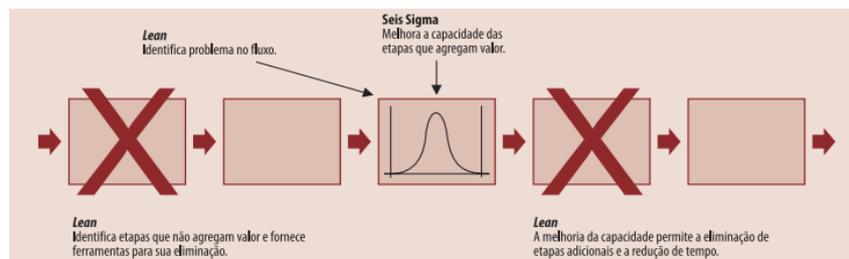


Figura 4 - Integração da filosofia Lean e 6 Sigma na melhoria de um processo (retirado de C. Werkema, 2008)

Embora originalmente ambas as abordagens estivessem ligadas a processos fabris, a sua conjugação é atualmente transversal a várias novas áreas de serviços tais como hospitais, consultoras, etc. O planeamento estratégico desempenha um importante papel na liderança de todos os diversos negócios e permite antever implicações futuras de decisões tomadas no presente, preparando as empresas para as mudanças que possam ocorrer aos diferentes níveis (ambientais, económicos, sociais e tecnológicos), medindo novas oportunidades e enfrentando as ameaças inerentes a esses novos ambientes (Morais et al., 2015). É com base nessa premissa que as empresas devem estar dispostas a investir e a adaptar os seus processos, tornando-os mais flexíveis, eficazes e eficientes tendo sempre em vista o cliente final e as suas (futuras) exigências. Como tal, qualquer processo deve tornar-se o mais standardizado possível de modo a reduzir toda e qualquer variação que possa existir, refletindo isto o maior desafio empresarial no mundo atual.

No contexto desta dissertação, a metodologia do *Lean 6 sigma* foi aplicada tendo em conta as fases de desenvolvimento de um projeto através do ciclo DMAIC. Para cada um dos casos de estudo apresentados foi procurado fazer-se a definição e caracterização do estado inicial dos mesmos, definindo-

se medidas de desempenho que se pretendiam ver otimizadas assim como outros indicadores e variáveis onde se iriam refletir mudanças. Para estas medidas foram feitas as devidas avaliações e quantificações iniciais e analisados os resultados obtidos com base em fatores ergonómicos (posturas e fatores de risco), produtivos (tempos de ciclo) e laborais (integração do ser humano no ambiente de trabalho). A fase de melhoria do sistema é relativa à fase de testes e ajustes do projeto implementado tendo em vista o melhoramento da colaboração entre humanos e *robots* sendo o controlo medido através da monitorização da execução das atividades com vista a aplicarem-se os conhecimentos obtidos através desta implementação noutras secções da empresa e/ou replicação do próprio posto.

2.2 Indústria 4.0

A constante adaptação e inovação do ser humano face às necessidades que o rodeiam fazem com que existam períodos de transição na história da humanidade marcados pelas revoluções industriais. O impacto que elas têm para a vida do ser humano é tanto mais perceptível quanto maior for o envolvimento com o 'antes' destas surgirem e o envolvimento nas transformações que originaram. Mesmo podendo o ser humano não presenciar as mudanças em tempo real durante a sua vida, é possível ter uma aproximação do que existia outrora através de contactos por meio de relatos de histórias de vida dos mais velhos, pelos *media*, livros, entre outros (Da Costa, 2002).

Num espaço de 200 anos adquiriram-se tecnologias, mecanismos e conhecimentos que hoje em dia são imprescindíveis não só ao nível do desenvolvimento industrial como no quotidiano. Desde o aparecimento da máquina a vapor no final do século XVIII – 1ª Revolução Industrial - à criação da eletricidade e produção em massa durante a segunda metade do século XIX - 2ª Revolução Industrial -, chegou-se àquela que seria a impulsionadora e ponto de partida para uma era tecnológica e digital através da criação dos primeiros computadores pessoais e da internet - 3ª Revolução Industrial (Datheine, 2003). Se durante os séculos XVIII e XIX ocorreu sobretudo a substituição da energia humana e animal por via de maquinarias mais eficientes e a descoberta de métodos de obtenção e elaboração de matérias-primas, é chegada a hora de integrar o mundo físico e digital das áreas da atividade, economias industriais e serviços em busca da criação da Aldeia Global proposta por Marshall McLuhan e Bruce Powers (1986) – 4ª Revolução Industrial. Cada revolução industrial apresenta-se assim como uma transição entre eras de diferente desenvolvimento industrial, técnico e tecnológico estando demarcadas pelo desenvolvimento de tecnologias específicas – Figura 5.

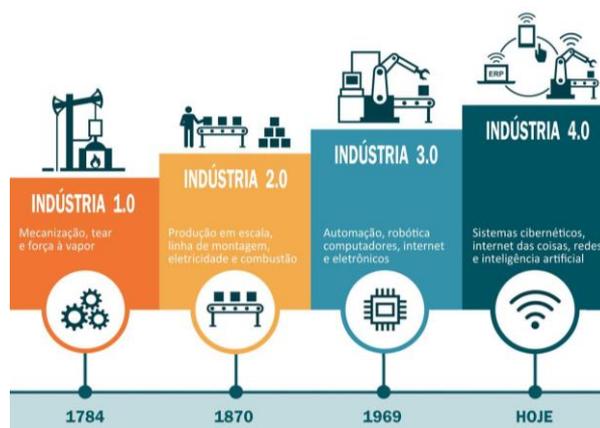


Figura 5 - Evolução Industrial ao longo do tempo (retirado de NetscanDigital, 2019)

McLuhan foi o primeiro filósofo a abordar as transformações sociais provocadas pela revolução tecnológica do computador e das telecomunicações. Para o autor, as novas tecnologias de informação e de comunicação transformariam o mundo numa enorme aldeia global e era a nova interdependência eletrônica que recriaria o mundo à imagem desta (Tremblay, 2008). Embora seja uma metáfora que gera muita controvérsia no meio dos críticos literários dada a sua subjetividade, imprecisão intelectual e superficialidade de conteúdos, a mensagem que McLuhan quis passar é de que o conteúdo de um meio consiste nos meios anteriores: «o rádio incorporou o jornal; a televisão incorporou o rádio e o cinema, e a internet incorporou todos os meios anteriores» (retirado de Braga, 2011:53).

Da mesma forma que surge a 'revitalização' da Tecnologia da Informação, uma evolução semelhante acontece ao nível da Tecnologia Científica: a energia do vapor potenciou a substituição dos meios de tração artesanais, entre outras coisas; os desenvolvimentos aplicados à indústria elétrica e química serviram de base para a massificação de bens padronizados e a automatização de processos; as descobertas científicas e os progressos técnicos eram sustentados pelo conhecimento e informação adquiridos através da organização e administração científica do trabalho nas mais diversas áreas, desde a indústria química, pela criação de novos materiais como o aço, até à indústria farmacêutica e têxtil (Dathein, 2003).

Atualmente o foco dos estudos e análises recai sobre a Indústria 4.0. A 4ª Revolução Industrial, primeiramente denotada como Indústria 4.0 na Feira de Hannover de 2011, é caracterizada por um leque de novas tecnologias cujo foco é a fusão dos mundos físicos, digitais e tecnológicos, impactando todas as disciplinas, economias e indústrias, levando à ideia desafiadora da clarificação acerca do que se traduz ser um Humano (Schwab, 2017). O professor Klaus Schwab, fundador e chefe executivo do Fórum Económico Mundial (do inglês, *World Economic Forum* – WEF), defende o potencial atribuído às

promessas associadas a esta revolução, contudo mostra-se preocupado com a forma como estas mudanças podem prejudicar as pessoas e as organizações caso não sejam devidamente implementadas e/ou solucionadas, nomeadamente com questões de faltas de capacidade de adaptação por parte das empresas, novas questões de segurança relativamente à mudança do poder, crescimento da desigualdade, entre outras. Por forma a contornar estas questões, a análise deste tem-se centrado em discutir os maiores impactos que poderão ocorrer ao nível dos governos, negócios, sociedade civil e indivíduos e sugere formas de resposta, partindo de um igual tratamento geográfico dos indivíduos, sectores e disciplinas, centrado nas pessoas, por forma a se compreenderem as oportunidades presentes.

Várias são as tecnologias associadas à quarta revolução industrial. Na Tabela 1 encontram-se ilustradas as principais novas tecnologias.

Tabela 1 - Principais novas tecnologias da Indústria 4.0 (adaptado de Magalhães & Vendramini, 2018)

Tecnologia	Descrição
<i>Inteligência artificial</i>	Possibilita que os sistemas aprendam sem necessidade de programação. <i>Aplicabilidade:</i> identificação facial e de voz, em veículos autônomos e na automação de processos e serviços.
<i>Robótica</i>	Produção de <i>robots</i> para automação de atividades a custos decrescentes. <i>Aplicabilidade:</i> sistemas de inspeção, montagem, transportes
<i>Biotecnologia</i>	Transformação e combinação de substâncias vivas em tecnologia e vice-versa. <i>Aplicabilidade:</i> Uso de organismos vivos na produção de medicamentos, nutrientes químicos, combustíveis, entre outros.
<i>Neurotecnologia</i>	Implantação de equipamentos eletrônicos nos organismos, <i>Aplicabilidade:</i> Melhoria na monitorização da saúde, do tratamento de doenças e de ampliação da capacidade cognitiva.
<i>Blockchain</i>	Registo de transações financeiras num arquivo digital de forma distribuída, imutável, transparente e auditável. <i>Aplicabilidade:</i> Monitorização de cadeias de fornecimento, de registos e de certificações diversas.
<i>Internet das coisas (IoT)</i>	Conexão de máquinas, eletrodomésticos, veículos, produtos, entre outros (inclusive pessoas), à internet. <i>Aplicabilidade:</i> gestão das cidades e residências.
<i>Impressão em três dimensões (3D)</i>	Fabricação de qualquer coisa, com o uso de qualquer material, num sistema de pequena escala. <i>Aplicabilidade:</i> Teste de protótipos, personalização de peças em baixo volume, entre outras.

Paralelamente àquelas que serão as principais potencialidades desta nova era, como a interoperabilidade e conexão das “coisas” através de sistemas cibernéticos, o primeiro desafio passará por integrar as novas diretrizes e processos de mudança com projetos e políticas/metapas públicas a serem praticadas pelos diferentes países ao nível da sustentabilidade, por exemplo. Com o auxílio da inteligência artificial, robótica e *blockchain*, uma das grandes potencialidades ao nível ambiental consiste na melhor gestão, aproveitamento e transformação de recursos, produção industrial mais eficiente e monitorização do ambiente (fauna, flora, poluição, reciclagem, certificação de origem e controlo de cadeias de abastecimento). Já várias empresas aplicam este tipo de abordagens na sua gestão de recursos como são exemplos as empresas:

- Walmart (multinacional de retalho) que tem vindo a desenvolver dois projetos através do *blockchain*, fazendo num deles a monitorização da cadeia de carne de porco produzida na China e no outro o rastreamento da origem das mangas vendidas nas duas lojas nos Estados Unidos (Shriaz, 2019);

- Everledger (plataforma especializada no comércio seguro de ativos de alto valor tais como diamantes, peças de arte e garrafas de vinho requintadas), desde 2017, tem vindo a usar inteligência artificial para analisar conjuntos de dados e ajudar os seus clientes a obter a documentação requerida e as respetivas obrigações de contrato inteligentes (*smart contracts*) e *machine vision* para certificação de diamantes ao nível atómico (Everledger, 2001);

- Volkswagen (indústria automóvel), entre outras empresas, com base na conectividade tem criado ciclos de vida para os seus produtos onde 95% dos componentes dos componentes são possíveis de reciclar, tendo por base uma melhor gestão de recursos (Volkswagen Portugal, 2020).

No tocante às empresas e os seus impactos diretos com foco dentro da organização, a Indústria 4.0 vem transformar toda a cadeia de valor do produto desde o seu design, processos de manufatura, operações e sistemas produtivos. A conectividade e interação entre as partes envolvidas das empresas, máquinas e pessoas irão tornar a troca de informação mais rápida, com menos risco para os trabalhadores, estimando-se sistemas 30% mais rápidos e 20% mais eficientes (Rübmann et al., 2015). Os processos de manufatura serão transformados de células simples automatizadas para células totalmente integradas que comunicam entre si. Atualmente já existem empresas que começam a adotar a impressão em 3D para a impressão de protótipos de componentes individuais. Porém, o objetivo da revolução a que se assiste passará pela aplicação desta nova metodologia a pequenos lotes de produtos customizados. O efeito global da Indústria 4.0 concentra-se na personalização de produtos sob condições de produção em massa, através da automatização e uma reformulação das relações tradicionais entre os colaboradores dos processos (fornecedores-produtores-clientes e humano-máquina) (Rübmann et al.,

2015) gerando sistemas de produção orientados ao produto (SPOP), mais flexíveis, de fácil reconfiguração, mais eficientes e precisos (Alves et al., 2003) . Mesmo ao nível do chão de fábrica é esperado que a sua eficiência aumente pela introdução de veículos de transporte autónomos capazes de se orientarem através de sistemas de navegação laser e de se comunicarem através de rede *wireless* com outros veículos.

Já quando são considerados os impactos com foco no comércio, as tecnologias supra abordadas permitem também a formação de redes de mercados com base na criação de plataformas para pequenas empresas, existentes em menor escala e com cadeias de abastecimento mais curtas para além de se formularem novos modelos de negócios fundamentados em alta tecnologia cujo potencial permitirá reduzir a desigualdade em regiões subdesenvolvidas (Magalhães & Vendramini, 2018). Todavia, fazendo diminuir-se o custo de produção e distribuição, pode ser induzido um aumento do consumo dos bens que poderá levar a impactos ambientais negativos. É importante ter em consideração que em 2016 o consumo de lixo de origem eletrónica atingiu o valor aproximado de 44,7 milhões de toneladas em todo o mundo – o equivalente a 4500 torres Eiffel - e a previsão para 2021 é de 52,2 milhões de toneladas, correspondendo a uma taxa de aumento médio de 3 a 4%/ano (Baldé et al., 2017). Um estudo conduzido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE, 2008) aprimorou que as empresas que investem mais em tecnologias digitais e em conhecimento se sucedem melhor no seu mercado, distanciando-se da concorrência, bem como emergindo em novos setores.

No tocante à vertente corporativa, a revisão de literatura apresenta duas posições: se por um lado são criados empregos em algumas áreas, por outro lado ameaçam-se destruir outros dado nem todos os postos de trabalhos serem possíveis de automatizar sendo o argumento de que a tecnologia aumentará principalmente a produtividade através de sistemas de assistência física e digital, sendo assim possível despende de grande parte da mão-de-obra humana (Magalhães & Vendramini, 2018). Para as autoras Regina & Annelise (2018), o uso de inteligência artificial em instituições financeiras e empresas prestadoras de serviços como telecomunicações, escritórios de advocacia, corretoras de imóveis devem eliminar os empregos de grande parte da classe média. Já em atividades que exijam criatividade, empreendedorismo e inovação, o trabalho humano ainda não possui alternativas para a sua substituição. No estudo por elas mencionado, estas apresentam uma estimativa esperada da proporção de empregos em risco decorrente de um estudo sobre os efeitos da automação e da inteligência artificial - efetuado nos Estados Unidos, Japão, Reino Unido e Alemanha – de 35% a 47%.

Nicolaci da Costa (2002) defende que na vertente social não existem dúvidas acerca da influência das tecnologias no comportamento e hábitos humanos. Se numa primeira fase é quase

instintivo detetar este poder das tecnologias nos hábitos humanos e formas de agir, por outro lado a autora afirma ser mais difícil de compreender o alcance que estas mudanças poderão ter na forma como o ser humano percebe e organiza o mundo externo, na maneira como pensam e como se relacionam, como se sentem, etc. Mesmo ao nível ético, a constante aproximação por parte da psicométrica avançada sobre perfis psicológicos com capacidade para prever decisões e comportamentos de forma bastante precisa começam a ganhar terreno mas ainda estão a ser discutidos pela sociedade e trabalhadores no tocante a legislação e regulação (Magalhães & Vendramini, 2018).

2.3 Robótica Colaborativa

No seguimento das mudanças e das novas tecnologias que estão a emergir devido à Indústria 4.0, também o conceito *Lean* se tem demonstrado versátil e aplicado a novas áreas, nomeadamente à área da tecnologia da automação, designada Automação *Lean* (do inglês, *Lean automation*). Este conceito surgiu em meados dos anos 90 após o aparecimento da manufatura integrada por computadores e está na origem da ideia de criação de sistemas de fábricas inteligentes. Nestas fábricas, descritas pela centro de pesquisa de inteligência artificial alemã, os componentes e máquinas estão a tornar-se inteligentes, os sistemas de produção tem capacidade para controlar e planear de forma inteligente a produção dos seus produtos em tempo real e o ser humano é responsável por supervisionar e controlar as atividades que decorrem a cada instante (Kolberg et al., 2015).

Embora na última década a ciência não tenha prestado muita atenção ao conceito de automação *Lean*, no contexto da Indústria 4.0 novas são as soluções disponibilizadas para o desenvolvimento destas duas tecnologias, como é exemplo a digitalização de sistemas *kanbans*, onde os cartões com ordens de produção convencionais são substituídos por cartões virtuais. Os recipientes de produtos, quando vazios ou em falta, são detetados automaticamente através de sensores o que leva o sistema *e-kanban* a enviar um sinal para compensar o reabastecimento. Desta forma, os *kanbans* em falta não causam distúrbios na produção, desde que o inventário no sistema condiga com o inventário real.

Mesmo tendo diversas áreas de aplicação, a tendência da era da digitalização e customização é sempre conseguir reduzir o tempo de desenvolvimento de novos produtos promovendo um ambiente de trabalho mais saudável para os colaboradores (Moura & Moura, 2019).

Por oposição à automação, a robótica colaborativa surge com o potencial de integração da realidade física e virtual na substituição parcial de atividades até outrora executadas pelo ser humano. Embora este potencial já seja reconhecido, ainda não está totalmente implementado e ainda se encontra a ser estudado e avaliado por muitas empresas. Contudo, a sua implementação visa a cooperação de

robots (cobots) e humanos no mesmo espaço de trabalho em conformidade com normas internacionais de funcionamento e segurança – ISO TS 15066 (BSI Group, 2016).

A principal tarefa dos *cobots* é substituir tarefas perigosas e/ou não ergonómicas para os trabalhadores, que são desconfortáveis e de alto risco para estes. Segundo Alex Owen-Hill (2016a), o maior impacto inerente a estes *robots* verifica-se na redução do risco associado às lesões musculoesqueléticas dos postos de trabalho que afetam milhões de pessoas todos os dias em toda a parte do globo. As lesões musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT) referem-se ao conjunto de transtornos causados no corpo humano que afetam os músculos, tendões, articulações, nervos e ligamentos, entre outros. Na sua origem estão associados períodos de stress físico repetitivo, entre outros fatores, sendo estes mais observados em indústrias alimentar e manufatura. Estima-se que em 21,3% das incapacidades observadas globalmente, estas sejam relativas às LMERT, o que em termos financeiros custa à União Europeia cerca de 240 mil milhões de euros todos os anos em perdas de produção associadas ao absentismo e doenças. Para além de custos diretos como a compensação de pagamentos aos trabalhadores, pagamentos médicos e despesas legais, os custos indiretos constituem cerca de cinco vezes mais o valor dos primeiros, envolvendo-se custos de perda de produção, investigação da causa dos incidentes, substituição e formação de funcionários, entre outros (Middlesworth, 2016). Embora não seja possível evitar todas as lesões por completo, muitas destas lesões são evitáveis e corrigíveis com melhoria dos locais de trabalho em termos ergonómicos.

Por oposição aos *robots* tradicionais, os *cobots* foram concebidos com base em propriedades cinemáticas e eixos com 6 ou 7 graus de liberdade que os fazem ser capazes de adequar a interação física ao espaço de trabalho, realizando movimentos precisos e suaves que não constituem uma fonte de risco para o ser humano. Como tal, na sua conceção, são considerados fatores ergonómicos e bases antropométricas para os criar como uma extensão do próprio corpo humano, da mesma forma que são considerados *designs* sem arestas vivas ou sem pontos de possível entalamento, com o mínimo de vibrações prejudiciais, controlo por contacto, entre outros (Owen-Hill, 2016b).

O próprio desenvolvimento do *cobot* já apresenta algumas soluções diferentes de pegas – *grippers* - que este pode ter de modo a adaptar-se à geometria da peça que terá de manipular, desde a utilização ou não de dedos, a sua flexibilidade, a possibilidade de agarrar os objetos através de vácuo, entre outros (Ruiz, 2018).

O conceito de cooperação humano-robot (do inglês *human-robot cooperation* – HRC) refere-se ao uso de *robots* não confinados a um espaço isolado que não comprometam a segurança do(s)

operador(es). As tarefas atribuídas ao operador e ao *robot* estão situadas no mesmo ambiente de trabalho eliminando-se, assim, a divisão entre o trabalho humano manual e o trabalho automatizado de um *robot*.

Na Figura 6 estão elucidados vários níveis de cooperação entre o humano e um *cobot*.

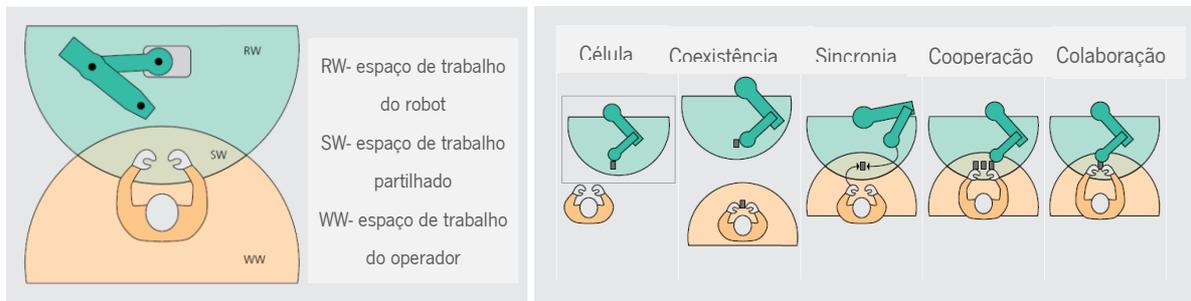


Figura 6 - Níveis de cooperação entre o Humano e um Cobot (Fonte: Bauer et al., 2016)

Como se pode observar, o primeiro caso – Célula, não corresponde a uma situação de cooperação já que o trabalhador está isolado e protegido do *robot*, tal como ocorre na automação industrial tradicional. No segundo caso – Coexistência – ambos os intervenientes trabalham lado a lado mas cada um tem o seu espaço de trabalho pelo que continua a não haver cooperação. Nos dois casos seguintes – Sincronia e Cooperação – já há partilha do espaço de trabalho (SW) no entanto, enquanto que na ‘Sincronia’ apenas um dos intervenientes opera na zona SW de cada vez, na ‘Cooperação’ ambos têm disponibilidade para manipular no SW ao mesmo tempo em produtos/componentes diferentes. No último caso – Colaboração – a HRC é máxima o que significa que tanto o operador como o *robot* se encontram no espaço partilhado a manipular ao mesmo tempo um dado produto, sendo esta situação o objetivo da robótica colaborativa. A experiência sugere que, na impossibilidade de ser logo implementada uma interação por colaboração, esta evolução seja feita de forma gradual começando pela coexistência (Bauer et al., 2016).

Sendo a vantagem dos *robots* a precisão adquirida nos movimentos e a sua execução de forma padronizada e standardizada, a interface humano-máquina pode incorporar dispositivos à prova de erros para melhorar os índices de qualidade e conferir maior credibilidade ao processo, assim como lhe conferir mais resistência, rapidez e agilidade (Gillespie et al., 2001).

Adicionalmente o uso de *robots* colaborativos mostra-se com benefícios no facto de serem geridos e controlados através de sistemas intuitivos baseados na realidade aumentada e programação por demonstração, entre outras opções, o que torna mais segura a HRC. Estes sistemas envolvem câmaras, sensores de proximidade e sonares que permitem a monitorização dos movimentos do próprio *cobot* usando sensores avançados que não põe em risco ou perigo o trabalhador. Para já, não sendo

capazes de pensar por si, os *cobots* só executam comandos após aprendizagem dos movimentos o que os limita a cumprir o que esta na sua programação.

Uma das vantagens diretas do uso dos *cobots* passa por melhorar o conforto geral do trabalhador o que irá diminuir a rotatividade e a taxa de absentismo. Na medida em que trabalham em simultâneo em operações outrora somente desenvolvidas pelo trabalhador, o tempo de ciclo respetivo para a produção de um mesmo produto irá diminuir, enquanto a precisão da sua execução e a produtividade irão aumentar, através de um fluxo de trabalho mais suave para o operador. Da mesma forma, como a qualidade dos produtos é melhorada, não existirão tantos defeitos o que irá reduzir o desperdício de materiais, diminuindo o valor da sucata e/ou retrabalho pelo aproveitamento mais eficiente dos materiais (Carette, 2014).

Outra das vantagens incide sobre o seu baixo custo de aquisição e o seu baixo volume e peso, comparativamente aos *robots* industriais. O seu baixo volume levou os utilizadores a considerarem formas de utilizar o *robot* de forma portátil em múltiplas localizações, equipando-os com rodas em alguns casos.

Contrariamente ao que se possa pensar, em adição às vantagens económicas e técnicas supra mencionadas, um impacto direto na implementação desses *robots* passa pela criação de postos de trabalho e novas oportunidades, ao invés da substituição dos trabalhadores (Villani et al., 2018). Um estudo efetuado num grupo de trabalhadores do chão de fábrica da indústria automóvel, cuja experiência profissional ronda os 25,3 anos, em média, demonstrou com base num inquérito que todos eles se encontravam preocupados no facto do *cobot* poder tirar-lhes o trabalho, reduzir o contacto com outros colegas, na mesma medida em que reconheceram que estes lhes poderiam aliviar a sua carga de trabalho física e mental (Elprama et al., 2017). Para várias empresas que estimam a redução do número de colaboradores de forma acentuada, os seus dirigentes alegam que o ser humano terá de desenvolver um novo perfil profissional e precisará de adquirir habilidades e qualificações que lhe permita desenvolver um novo perfil ocupacional nas novas fábricas altamente inovadoras e digitalizadas que vão surgir (Benešová & Tupa, 2017).

Estudos aplicados a diferentes potenciais utilizadores de *cobots* de vários setores tiveram por objetivo avaliar as expectativas e preocupações do potencial destes (Kildal et al., 2018) (Aaltonen & Salmi, 2019). A principal preocupação de ambos os grupos é relativa à segurança, considerando-a um requisito básico inerente a qualquer tecnologia interativa para potenciar a experiência do usuário e a barreira entre a adoção ou não desta de forma livre de gaiolas. Da mesma forma, o próprio *cobot* tem se 'sentir' seguro a promover uma boa experiência a quem com ele colabora e a conclusão reside na

lista de características que os participantes acharam mais interessantes para ser incluídas no sistema do *cobot*, tais como a consciencialização do contexto de trabalho e a informação dos trabalhadores sobre as funcionalidades do *cobot*. Para além destas, também a questão do potencial de uso e a facilidade do mesmo são importantes, seguidas da flexibilidade relativa ao design e linguagem de programação. Como constrangimentos na implementação da robótica colaborativa, são variantes importantes a falta de conhecimento deste tipo de tecnologia, aceitação por parte dos trabalhadores e os custos. Ao nível das expectativas é esperado um impacto positivo na produtividade, melhoria das condições de trabalho e competitividade sendo um fator de curiosidade e interesse a interação via voz e gestos. Relativamente a atividades preferenciais para a colaboração salientam-se a criação de paletes de produto e a montagem e o tempo expectado para a implementação de *cobots* por parte dos utilizadores do estudo tem um horizonte de cinco anos (Aaltonen & Salmi, 2019).

Outro dos desafios inerentes passa pela projecção do local de trabalho colaborativo que exige o conhecimento exato e detalhado das atividades executadas no posto de origem, não só por parte de quem executa a tarefa como também de quem planeia e viabiliza a execução do projeto (Gillespie et al., 2001). Para tal, após a análise do posto de trabalho e definição das medidas de desempenho originais (do inglês *key-process indicators*- KPI) em causa, são feitos testes e validações no mundo virtual e depois físico. A experiência sugere que o ritmo de trabalho praticado pelo *cobot* deve ser adaptado ao ritmo de trabalho pretendido para o operador. Segundo a Administração de Saúde e Segurança Ocupacional (do inglês *Occupational Safety and Health Administration* – OSHA) existe uma lista de tarefas que quando executadas pelo ser humano podem trazer riscos devido à sua repetibilidade mas quando executadas pelos *cobots* estes podem executá-las sem problemas a longo prazo (OSHA, 2012). Algumas destas incluem movimentações repetitivas de mãos e braços ou tarefas monótonas; posicionamento inadequado dos braços ou das mãos, em especial destaque quando são pretendidos movimentos em ângulos estranhos; movimentações dos braços, pulsos e ombros, nomeadamente em operações acima do nível dos ombros; elevado esforço físico e fadiga; levantamento e lançamento manual de cargas e; casos conhecidos de LMERT, contusões nas mãos, fraturas e doenças ocupacionais.

Da mesma forma, a questão do planeamento e a produção de um novo suporte adequado para o executar leva as empresas a precisarem de ferramentas, conselhos e recursos para esta nova realidade.

A aplicação industrial dos *cobots* já se encontra documentada em alguns casos de estudo praticados em diferentes secções de diversas indústrias. Na Tabela 2 encontram-se descritos alguns destes casos, a área de aplicação, metodologia, e resultados obtidos.

Tabela 2 - Casos de estudo sobre a aplicação de cobots nas indústrias

Secção da Empresa	Objetivo	Metodologia	Resultados
<p>Linha de produção da indústria de produção automóvel (manufatura de uma família de componentes) (Gil-Vilda et al., 2017)</p>	<p>“Desrobotizar” a secção e transformá-la numa célula de trabalho semi manual em forma de U</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Criação e/ou análise de três soluções sendo estas a situação inicial, “desrobotização” da linha e inclusão de um <i>cobot</i> na substituição parcial de uma tarefa - KPI em análise: produtividade, superfície ocupada, produtividade por unidade de superfície e performance 	<ul style="list-style-type: none"> - Mais flexibilidade em menor espaço com mais produtividade; - Aumento da produtividade de 18%; - Redução do espaço de trabalho de 170 m² para 45 m²; - Aumento da produtividade por unidade de superfície em 225%; - Aumento da performance de 75% a 92%.
<p>Montagem manual de um cilindro pneumático com um <i>cobot</i> (Quenehen et al., 2019)</p>	<p>Comparar diferentes estratégias de otimização e elucidar sobre diferentes fatores que potenciam o sucesso da otimização</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização do <i>Cobot Universal Robot</i>™ UR5 - Criação de um processo de montagem semi manual - Tentativas consecutivas de otimização sobre a aplicação de diferentes fatores como nível de instrução sobre o <i>cobot</i> em questão e tempo de redesign do processo - KPI em análise: tempo de ciclo (TC) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conceitos Lean como melhoria contínua, criação de trabalho standardizado, redução do tempo de operação e separação do homem e da máquina (<i>jidoka</i>) potenciam a introdução de forma eficiente dos <i>cobots</i>; - Combinação de tarefas e minimização de distâncias de deslocação mostraram-se eficientes na redução do TC; - Garantia da flexibilidade do processo.
<p>Linha de produção responsável pela aplicação de cola nas placas de reforço na Audi (Bruxelas) (El Makrini et al., 2018)</p>	<p>Desenvolvimento de um <i>cobot</i> para melhorar a qualidade do processo de uma tarefa manual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Cobot</i> desenvolvido: <i>Walt</i> - Implementação de ações sociais relevantes para a aceitação do <i>cobot</i>, como movimentos dos olhos, abanar e balançar a “cabeça” - Instrução do <i>cobot</i> baseada na interação por gestos pelos operadores - Inclusão de sistemas de reconhecimento fácil e de gestos, de segurança, de deteção da cola e das peças - Definição e demarcação da zona de interação no chão 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestos demonstrados de forma estática são mais facilmente detetáveis pelo <i>cobot</i>; - Decréscimo em 15% de peças não conformes; - Redução em 20% da quantidade de cola usada; - Boa aceitação e cooperação do uso do <i>cobot</i> por parte dos operadores; - Garantia da flexibilidade do processo e adaptação a diversos carros.

2.4 Avaliação da implementação de HRC: Técnicas e ferramentas utilizadas

2.4.1. Estudo dos tempos: Cronometragem

A medida do Trabalho é definida por um conjunto de procedimentos que visam a determinação do tempo necessário para a realização de alguma tarefa, de forma a fornecer à gestão um valor quantitativo que lhe permita fazer a gestão mais adequada dos recursos (OIT- Organização Internacional do Trabalho, 1963). O seu alcance compreende a resposta a questões tais como a capacidade da instalação, custos de transformação dos produtos, prazos previstos de entrega, entre outros, sendo que a sua realização envolve não só o registo de tempos, mas também os fatores circunstantes nos quais a tarefa ou processo se realizam.

As principais técnicas usadas na medição do trabalho são a cronometragem (ou estudo dos tempos), sondagem (ou amostragem do trabalho), sistemas de tempos pré-determinados e os sistemas de dados de referência. Em tais técnicas varia o ponto de partida da avaliação podendo este ser através da observação direta contínua e intensiva de tarefas manuais de ciclos curtos e repetitivos, observação direta extensiva para tarefas de ciclos muito longos e não repetitivos, resultados informatizados de tempos para as atividades fundamentais ou bases de dados de tempo semelhantes a anteriormente obtidos, respetivamente.

Nesta dissertação apenas se aplicará o método de observação direta intensiva e contínua: cronometragem ou estudo de tempos. Para ser realizado o estudo dos tempos no local de trabalho são consideradas atividades de ciclos curtos e repetitivos. Esta técnica de medida de observação direta baseia-se no registo dos tempos, bem como das condições de execução de uma dada tarefa para que, posteriormente, os dados recolhidos possam ser analisados.

A medição do tempo é feita com cronómetro, e simultaneamente é observado o ritmo de trabalho da operadora, podendo ser identificados outros elementos que possam ter influência nos tempos de execução, tais como as condições de trabalho e/ou ocorrências extraordinárias.

Antes de realizar a cronometragem é necessário ter em consideração algumas condições fundamentais para que esta se alcance com êxito. Para além de dar a conhecer os métodos e propósitos do estudo aos encarregados da gestão da empresa, é também crucial ter bem definida a precisão utilizada na medição, bem como as tolerâncias atribuídas, de forma a não haver discordância durante o andamento do estudo.

Para uma aplicação correta de um estudo de tempos por cronometragem é necessário assegurar cinco etapas, seguidamente elucidadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Fases de um estudo de tempos normalizados por cronometragem

Fases	Descrição
Etapa 1	<p>1.1 Escolha da atividade a estudar e correta divisão desta em elementos da atividade passíveis de serem medidos e analisados independentemente.</p> <p>1.2 Estes elementos devem ser distinguidos com base em movimentos fundamentais do executante, envolvimento dos mesmos grupos musculares e/ou exigência da própria tarefa.</p>
Etapa 2	<p>2.1 Criação de uma folha de tempos observados com base na cronometragem de cada um destes elementos;</p> <p>2.2 É nesta fase que importa definir o nível de confiança do estudo e respetivo erro por forma a garantirem-se o número de observações necessárias;</p> <p>2.3 Nos casos em que o número de observações feitas é inferior ao recomendado, devem ser completados os registos.</p>
Etapa 3	<p>3.1 Fazer o julgamento da atividade tendo por base a cadência definida como a atividade de referência imposta/considerada normal pelos do responsáveis posto de trabalho de tal forma que toda a gente na empresa a consiga executar;</p> <p>3.2 Para este projeto foi sempre aplicada a avaliação objetiva.</p>
Etapa 4	<p>4.1 É nesta etapa que se considera a dificuldade de execução de cada elemento, sendo atribuído um incremento obtido em tabelas de valores empíricos determinados experimentalmente. Para este projeto foi usada a tabela de valores proposta por Mundel (1955) - Anexo A: Ajustamentos de Dificuldade. Após a sua definição, pode-se calcular o tempo normalizado de cada elemento.</p>
Etapa 5	<p>5.1 Tendo-se alcançado toda a informação necessária para se determinar o tempo normalizado, é nesta etapa que se analisam os resultados obtidos através de gráficos ou outro tipo de representações e se extrapolam conclusões.</p>

Sendo importante ter em consideração que a própria execução do trabalho pressupõe dispêndio de energia, esforço e fadiga, mesmo quando o trabalho é simplificado à sua forma mais simples e eficaz, é sempre importante incluir um complemento de tempo que permita ao trabalhador compensar a fadiga e repousar. As correções aplicadas ao tempo normalizado do trabalho assumem assim uma grande importância por trazerem o realismo da condição fisiológica dos trabalhadores bem como condições reais de operação (como condições ambientais, térmicas, do posto de trabalho) na definição do tempo que é previsto para uma dada atividade. As diversas categorias de correções existentes encontram-se representadas na Figura 7. A descrição destas correções encontram-se elucidadas no Anexo 1.

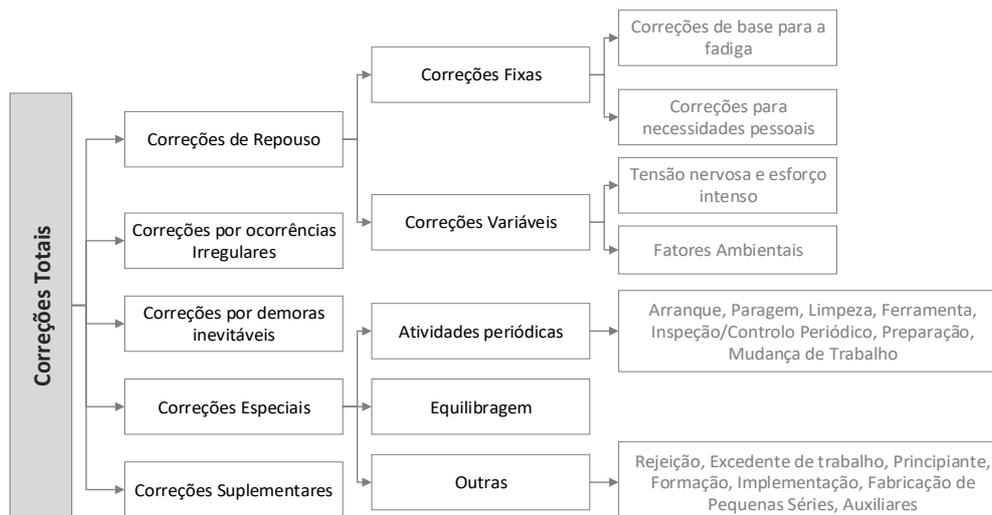


Figura 7 - Categorias de correções aplicáveis

Embora nem sempre se apliquem estes métodos em toda a sua extensão (inclusão dos ajustamentos e correções), a monitorização e aplicação de cronometragens é usada amplamente na comparação de diversas fases no desenvolvimento de projetos de melhoria dos postos de trabalho, incluindo a implementação de HRC, tal como aplicado por Gualtieti et al. (2020).

2.4.2. Análise de Pareto

A análise de Pareto foi uma ferramenta desenvolvida por Joseph Juran, um importante consultor na área da qualidade, que se inspirou num estudo do italiano Vilfredo Pareto, que outrora tinha observado que 80% da riqueza da Itália estava concentrada em apenas 20% da população. Atualmente, é amplamente usado na área da produção, qualidade, gestão de *stocks*, entre outros, onde se afirma que 80% *outputs*/consequências de um sistema são causadas por apenas 20% dos *inputs*/causas associadas a este. A curva ABC permite distinguir 3 categorias na análise de um sistema:

- Classe A: com maior impacto/importância correspondendo a 20% do total dos *inputs*;
- Classe B: tem importância intermediária e assume 30% do valor total dos *inputs* e;
- Classe C: com a menor importância, traduz 50% dos *inputs*.

Embora a curva ABC delimite o alcance das 3 categorias que envolve, estes limites são flexíveis e devem ser alvo de atenção nos estudos a que estão sujeitos (Kumar et al., 2019).

2.4.3. Métodos de avaliação ergonómica

Dada a grande incidência das LMERT e o seu impacto na saúde ocupacional e nos custos que podem acarretar para as organizações, torna-se importante identificar, medir, analisar e reduzir o

impacto dos fatores de risco associados às possíveis lesões. Os métodos existentes para a avaliação ergonômica dos postos de trabalho foram criados para auxiliar a saúde ocupacional do ser humano, assegurando a sua qualidade laboral e prevenindo lesões a médio e longo prazo. Estes métodos (David, 2005; Li & Buckle, 1999) podem ser classificados e descritos entre:

- Auto-relatos dos trabalhadores obtidos através de *checklists*, questionários, captação de vídeos, entre outros. Embora sejam métodos fáceis e intuitivos de aplicar, é necessário um grande número de amostras para os resultados serem representativos, como por exemplo o questionário Nórdico Musculosquelético (NMQ, usando a sigla em inglês) (Crawford, 2007);

- Métodos observacionais que são métodos vulgarmente mas adequados para situações de recursos e tempo limitados e a escolha do método depende dos fatores de risco que se pretendem avaliar, local de trabalho e tamanho da amostra. O método *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) é um exemplo deste tipo de métodos;

- Métodos de medição direta de variáveis de exposição no local de trabalho. Conta com aparelhos mais ou menos sofisticados, para os quais se necessita de investimento inicial maior e presença de técnicos especializados para a manutenção e correto funcionamento dos aparelhos. São exemplos desta categoria a medição da força aplicada com sensores e medição contínua dos movimentos das articulações na realização das tarefas (eletrogoniometria).

Seguidamente contextualizam-se três métodos que foram usados no decorrer desta dissertação: questionário NMQ, método de análise ergonômica do espaço de trabalho (EWA) e RULA.

Questionário NMQ

Atualmente o Questionário Musculosquelético Nórdico (NMQ) encontra-se traduzido e validado para português (Mesquita et al., 2010). Este questionário é um método standardizado que pretende avaliar e caracterizar a sintomatologia musculosquelética (SME) percebida pelos trabalhadores, considerando nove regiões corporais (PESCOÇO; Ombros; Região torácica; Cotovelos, Região lombar; Punhos/Mão; Ancas/ Coxas; Joelhos e; Tornozelos/Pés) (Kuorinka et al., 1987). Para cada uma destas regiões corporais existem quatro questões que permitem a caracterização da sintomatologia associada. São estas a (1) existência dos sintomas nos últimos 12 meses; (2) existência nos últimos 7 dias; (3) impedimento de uma prática de atividades diárias normais devido à sua existência dos sintomas nos últimos 12 meses; e (4) quantificação da dor sentida na escala Visual Analógica (VAS) entre 0, no caso de não ter sentido dor, a 10, onde a dor é máxima.

Método EWA

O método de Análise Ergonómica do Espaço de Trabalho (do inglês, *Ergonomics Workplace Analysis – EWA*) procura recolher a perceção dos trabalhadores sobre o seu posto de trabalho assim como fazer uma análise mais objetiva por parte do observador. Este método, também designado de método FIOH dado ter sido desenvolvido pelo Instituto Finlandês de Saúde Ocupacional (em inglês *Finnish Institute of Occupational Health - FIOH*) em 1989, contempla a perceção dos trabalhadores relativamente a vários fatores que podem influenciar o ambiente em que estes estão inseridos e/ou expô-los a fontes de potencial risco/perigo (Ahonen et al., 1989). Os fatores considerados são os seguintes: Espaço de trabalho; Atividade física em geral; Tarefas de elevação manual de cargas; Posturas e movimentos; Risco de acidente; Conteúdo do trabalho; Restritividade do trabalho; Comunicação e contactos pessoas entre trabalhadores; Tomada de decisões; Repetitividade do trabalho; Nível de atenção requerido; Iluminação; Ambiente térmico e; Ruído. Para cada um dos 14 tópicos é necessária a sua avaliação numa de escala de 4 níveis qualitativos: (-) muito mau, (-) mau, (+) bom e (++) muito bom.

Avaliação RULA

O método RULA (McAtamney & Nigel Corlett, 1993) é um método observacional que foi desenvolvido com o objetivo de avaliar de forma rápida fatores de risco para trabalhadores individuais em postos de trabalho onde são reportados distúrbios nos membros superiores, não requer ferramentas durante a sua aplicação e compreende dois grupos: Grupo A - braço, antebraço, pulso e a sua rotação e Grupo B - pescoço, tronco e pernas. Com esta divisão dos grupos é possível assegurar que toda a postura corporal é analisada e qualquer tipo de posições assumidas pelas pernas, tronco e pescoço que possam comprometer ou a influenciar a postura nos membros superiores são tidas em consideração.

O método usa diagramas de posturas corporais e três tabelas de pontuações que providenciam a avaliação aos riscos expostos – Anexo 2. Juntamente com a função muscular e as cargas externas aplicadas nos movimentos, são atribuídos valores com base no sistema de codificação do método, previamente estabelecidos, gerando um valor de ação que indica o nível de intervenção necessário para reduzir os riscos de lesão devido à carga física no operador.

É importante referir que a cada postura está atribuída uma pontuação, sendo a pontuação de 1 concedida ao leque de movimentos ou posturas onde os riscos são mínimos e pontuações mais elevadas a posturas/movimentos que provoquem risco para o trabalhador nomeadamente na sobrecarga causada nas estruturas do segmento corporal em questão. A título de exemplificação, na Figura 8 encontra-se representado o sistema de pontuação para o braço.

Análise RULA do Elemento X		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço		
	-20° a 20°	+1
	>-20°	+2
	20° a 45°	+2
	45° a 90°	+3
	> 90°	+4
1a: Ajustar		
Ombro levantado		+1
Abdução do braço		+1
Ombros apoiados		-1

Figura 8 - Sistema de pontuação para o braço segundo o RULA (adaptado de McAtamney & Nigel Corlett (1993))

O impacto da aplicação de métodos de avaliação ergonómica, nomeadamente a metodologia RULA, em postos de trabalho em que se implementa a robótica já se encontra em artigos e apresenta-se um resumo destes na Tabela 4.

Tabela 4 - Casos de estudo sobre a aplicação de métodos de avaliação ergonómica em postos de trabalho robotizados

Secção da Empresa	Objetivo	Metodologia	Resultados
Embalagem: Abastecimento das caixas de mobília como os componentes necessários no produto final. (Colim, Sousa, et al., 2020)	Abordar o impacto e eficácia geral, sob o ponto de vista ergonómico, da implementação da ajuda robótica na secção	<ul style="list-style-type: none"> - Escolha da Linha (1, 2 e 3) baseada em queixas e limitações; - Identificação dos fatores de maior risco: alta torção do tronco e repetitividade - Aplicação do NMQ (n=14) e do RULA 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação da robótica na Linha 1 com um mecanismo robótico com ventosas que transfere individualmente as peças para o transportador no plano dianteiro; - O envolvimento dos trabalhadores fez aumentar a sua satisfação e motivação; - Redução dos valores obtidos no RULA; - A robótica efetivamente ajuda a reduzir a sobrecarga de tarefas manuais; - Impacto positivo na produtividade
Cabine de transporte de guindaste (Kushwaha & Kane, 2016)	Investigar a prevalência de LMERT em operadores de guindaste, análise postural e reestruturação do posto de trabalho	<ul style="list-style-type: none"> - Escolha do posto de trabalho baseado em queixas; - Aplicação do NMQ (n=27) e RULA (trabalho a pé: nível 7) - A postura mais grave ocupava 58% do tempo e acontecia quando o trabalhador estava inclinado para a frente olhando para baixo 	<ul style="list-style-type: none"> - Realocação do display de controlo para o plano dianteiro com a criação de uma cadeira deslizante que permite ao operador executar o trabalho sentado; - Redução da pontuação RULA (Trabalho sentado: Nível 3; Trabalho a pé: Nível 4)
Montagem manual de conjuntos de fios para o setor automóvel (Gualtieri et al., 2020)	Identificação e descrição das fases de desenvolvimento de uma solução colaborativa a partir de um posto de trabalho já existente	<p><u>Fase 1: Análise da situação corrente</u> (TC: 40seg/peça)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificação das tarefas com mais potencial de serem assistidas por um <i>cobot</i> - Aplicação do OCRA e RULA <p><u>Fase 2: Avaliação dos potenciais para os <i>cobots</i></u></p> <p><u>Fase 3: Redesign do posto de trabalho</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de uma estação de trabalho com altura ajustável e incorporação de um <i>cobot</i> no processo de prendimento dos fios com a fita isolante - Redução do valor/nível de risco pelo método OCRA e RULA: - TC reduzido para 35seg/peça (-12,3%) - Rentabilização do tempo de trabalho manual: 1460h/ano

2.4.4. ErgoVSM

No estudo de Quenehen et al. (2019) - abordado na Tabela 2- observou-se a aplicação de ferramentas e instrução Lean da população envolvida na inclusão de sistemas colaborativos. Como um dos objetivos desta dissertação compreende a melhoria das condições ergonómicas dos postos de trabalho, foi aplicada uma extensão da ferramenta Lean de mapeamento de processos, amplamente conhecida como VSM. A ErgoVSM (do inglês *Ergonomic Value Stream Mapping*) é uma ferramenta associada à filosofia Lean cujo objetivo é mapear o fluxo de valor em diversas áreas tendo em conta a inclusão da vertente ergonómica dos postos de trabalho (Jarebrant et al., 2016). O principal objetivo desta extensão ao tradicional mapeamento da cadeia de valor (VSM) é contribuir para a visibilidade e avaliação dos riscos ergonómicos que podem ocorrer quando são introduzidas ações que potenciam o aumento da eficiência de um sistema e/ou quando se procura reduzir o que não traz valor a um processo. À semelhança do VSM, esta conta com a participação ativa multidisciplinar de vários órgãos envolvidos nas tarefas mapeadas, desde entidades responsáveis pela gestão dos postos, responsáveis pela qualidade, peritos em Lean, técnicos de segurança do trabalho até aos próprios colaboradores que intervêm diretamente nos processo.

Inicialmente desenvolvida na Suécia para a indústria de manufatura, mais tarde foi adaptada ao setor da saúde tendo sido alvo do estudo nórdico multicentrado nesta área em diversos países. Os resultados sobre a influência da aplicação do ErgoVSM ao invés do VSM mostraram que o foco nos planos de ação ligados à ergonomia eram superiores na primeira ferramenta referida, não comprometendo o desempenho do mapeamento no que se refere à melhoria da eficiência e das condições de trabalho (Winkel et al., 2015).

O ponto de partida e o propósito para a aplicação desta ferramenta incide sobre quatro variáveis:

- O que se quer alcançar com a análise e que mudanças se esperam;
- Como se podem alcançar as mudanças (possibilidades e dificuldades/entraves);
- Como está feita a distribuição da responsabilidade pelas mudanças que ocorrerão e;
- Quem deve participar no grupo de investigação, considerando a representação dos grupos e funções relevantes (incluindo diversidade de perspetivas, sexo, grupos ocupacionais com diferentes funções, etc).

Seguidamente deve-se clarificar e definir qual a cadeia de valor que será relevante para avaliar. Sob este tópico ajudará perceber se a uma dada cadeia de valor é recorrente na unidade fabril (no caso da manufatura), se necessita de mudança por algum motivo, se é possível de lhe estabelecer limites claros da mesma forma que ter uma visão holística das mudança nas tarefas que envolvem, entre outras.

Sendo certo que o tipo de análise dependerá da cadeia de valor escolhida, esta fase é determinante para se definir o nível de detalhe do estudo relativamente às tarefas inerentes à cadeia.

A avaliação do ambiente de trabalho é feita segundo *templates* pré-definidos escalados em 10 níveis (1-10) atribuindo-se o nível 1 a “condições muito boas” e o nível 10 a “condições muito más”. A adequabilidade destes valores depende do conceito/parâmetro em análise, como forma de referência entre os diversos valores das pontuações, tendo por base os níveis mais extremos da mesma. A análise envolve 3 partes dependentes entre si entre as quais se podem fazer ajustamentos no decorrer do estudo.

Parte A: Na ótica das tarefas

A primeira parte conta com a identificação das tarefas envolvidas no processo em análise, determinação do tempo de ciclo de cada uma destas na base de unidade(s) produzida(s) numa unidade temporal (TC_{unid}) e respetiva atribuição de um nível da escala – Anexo 3, Tabela 51- segundo os critérios da ferramenta – Tabela 5. De salientar que todo o método deve assentar mesma base de produto avaliada na mesma unidade temporal.

Tabela 5 - ErgoVSM: critérios para a avaliação da Parte A

Ergonomia Física	
<i>Parâmetros</i>	<i>Descrição</i>
Postura de trabalho (WP)	Avaliação da postura da cabeça, ombros, braços, punhos, tronco e pernas durante a realização da tarefa.
Peso/Força (WF)	Peso carregado ou força feita em direção ao ambiente durante a realização da tarefa
Cálculo da Ergonomia Física (PE)	$PE \text{ (pontos/ unidade de tempo)} = WP * WF * TC_{unid}$
Conteúdo de Trabalho	
Exigência Mental (MD)	Avaliação da rapidez com que o trabalho é realizado, relativamente à exigência da tarefa de trabalho, possibilidades de realizar a tarefa de trabalho a tempo e fatores que possam ser entraves para tal.
Controlo/ Influência (CI)	Avaliação sobre a influência que a pessoa tem sobre si e sobre o seu processo, possibilidade de tomar decisões sobre quando e como a tarefa esta deve realizar.

Parte B: Na ótica da cadeia de valor

A segunda parte do método traduz-se numa visão mais englobante das atividades previstas na cadeia de valor. Desta forma procura-se atribuir um nível da escala à cadeia de valor – Anexo 3, Tabela 52 -, segundo os critérios da ferramenta – Tabela 6;

Tabela 6 - ErgoVSM: critérios para a avaliação da Parte B

Ergonomia Física	
<i>Parâmetros</i>	<i>Descrição</i>
Ergonomia Física Média (APE)	Cálculo estimado tendo em conta as observações de todos os grupos ocupacionais de uma dada tarefa e a duração total obtida. $APE = \sqrt{\frac{\sum \text{Ergonomia Física (PE)}}{\sum TC_{\text{unid}}}}$, APE ∈ [1,10] com uma casa decimal
Potencial de Ergonomia Física (PEP)	Reflete uma estimativa da variação da PE ao longo das tarefas da cadeia de valor. Passo 1: Categorizar cada uma das tarefas de acordo com as categorias A-F descritas na Tabela 7; Passo 2: Determinar o nível da escala com base nas pontuações que dominam no Passo 1.
Porosidade Física (PP)	Avaliação do período de tempo durante e entre as atividades que existe a possibilidade de recuperação física segundo a escala 1-10
Conteúdo de Trabalho	
Potencial de Conteúdo de Trabalho (WCP)	Reflete uma estimativa da variação do conteúdo de Trabalho entre as tarefas da cadeia de valor Passo 1: Categorizar cada tarefa de acordo com a Figura 8 e as pontuações MD e CI obtidas anteriormente. Passo 2: Determinar o nível da escala com base nas pontuações que dominam no Passo 1.
Porosidade Mental (MP)	Avaliação do período de tempo durante e entre as atividades que existe a possibilidade de recuperação mental segundo a escala 1-10
Comunicação (CO)	Avaliação da possibilidade de se ter contactos sociais durante a realização das tarefas, a possibilidade de entreatuda e ajuda numa situação mais aguda, entre outras de acordo com a Tabela 54 (Anexo 3).

Tabela 7 - ErgoVSM: escala para a avaliação do PEP (Passo I) - Parte B

A	Trabalho fácil e variado, que envolve uma mistura de trabalho sentado, a pé e a andar, sem manuseio manual significativo
B	Trabalho sentado, sem manuseio manual significativo
C	Trabalho a pé ou com deslocações sem manuseio manual significativo
D	Trabalho fundamentalmente de caráter a pé com manuseio manual
E	Trabalho a andar, em pé e movimentado com alguma carga
F	Trabalho pesado, a andar ou a pé

		Exigência Mental	
		1-5	6-10
Controlo/Influência	1-5	A Baixa exigência Alto controlo	C Alta exigência Alto controlo
	6-10	B Baixa exigência Baixo controlo	D Alta exigência Baixo controlo

Figura 9 - ErgoVSM: matriz para a avaliação do WCP (Passo I) - Parte B

Parte C: Plano de ação

Esta última fase passa pela identificação dos problemas existentes no estado atual e desenvolvimento de soluções com o objetivo de melhorar tanto a performance como o ambiente de trabalho. Estas alterações poderão ocorrer por forma a variar a carga de trabalhos ao longo dos ciclo, reestruturar postos de trabalho, alterar a sequência de tarefas executadas por um trabalhador, alocação de tarefas a outra entidade que não a que a executa no estado atual como forma de minimizar a sobrecarga desta, etc.

Através da discussão sobre que tarefas se podem melhorar ao nível ergonómico e de que forma se pode minimizar o risco de exposição dos trabalhadores a estas condições, deve-se elaborar um esboço por forma a permitir a visualização do que será o estado futuro. Tendo-se criado um plano de ação deve-se também refletir e avaliar de que forma este integrar-se-á com outras cadeias de valor, repetindo a análise feita na Parte A e B e vendo de que forma as novas variáveis trariam melhores resultados.

Em termos práticos menciona-se o exemplo apresentado por Jarebrant et al (2016) onde foi aplicado o método no serviço hospitalar. A título de exemplo, os autores distinguiram quatro grupos ocupacionais atribuindo uma cor distinta a cada um. Cada um deles tem um conjunto de post-its da cor atribuída à sua função de modo a serem facilmente identificados após avaliarem as atividades em que se envolvem na cadeia de valor escolhida segundo o algoritmo do método de acordo com as tarefas praticadas nessa atividade. Embora haja fatores que são identificados individualmente por cada grupo (ex. PEP e WCP passo 1), a quantificação destes é feito numa ótima transversal à respetiva atividade como um todo.

Na Figura 10 apresenta-se um resumo da aplicação do ErgoVSM no guia de aplicação da ferramenta (Jarebrant et al., 2016).

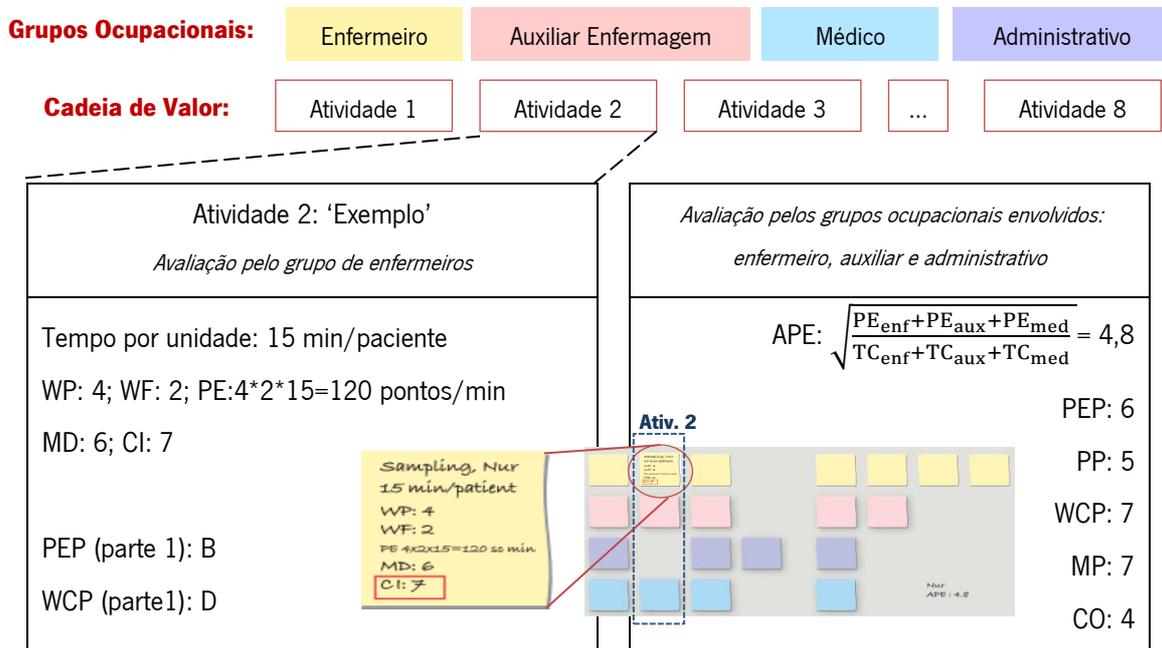


Figura 10 – Exemplificação da aplicação do ErgoVSM (adaptado de Jarebrant et al., 2016)

A aplicação desta ferramenta será tanto menos subjetiva quanto maior for a intervenção dos diversos operadores na execução de um dado trabalho, isto é, uma dada atividade ser partilhada por diferentes intervenientes com funções distintas. Desta forma, cada um deles tem a sua perceção sobre a forma como executa a sua função e contribui de forma específica para a avaliação global da atividade.

Em atividades que envolvem mais do que um trabalhador com a mesma função, a subjetividade deste método aumenta principalmente nas categorias que envolvem a perceção sobre um conjunto de tarefas em teoria distintas e executadas de forma diferente por ambos os trabalhadores (PEP e WCP, parte 2). Por outro lado, em postos de trabalho que existem planos de rotatividade, como cada um dos indivíduos da secção tem uma opinião sobre cada um dos espaços de trabalho em que processa as tarefas, na atividade global, embora com a mesma listagem de tarefas, cada um deles contribui com a sua opinião de forma diferente pois possui uma opinião diversificada das tarefas.

3. COLABORAÇÃO ENTRE EMPRESA E LABORATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO

O presente capítulo é dedicado à apresentação da empresa e laboratório onde foi realizado este projeto de dissertação. Neste capítulo inicial é feita uma descrição genérica da empresa fazendo uma descrição das suas fábricas e dos postos de trabalho em análise. Seguidamente é apresentada a visão, missão e projetos do laboratório de investigação DTx.

3.1 Empresa

A presente dissertação encontra-se associada a uma marca mundialmente conhecida de mobiliário e decoração, que começou a sua história 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 a preços tão baixos que, até outrora, tornavam os produtos dito bonitos meramente alcançáveis por uma certa parte da população.

Como parte do seu desenvolvimento ao longo de anos, tem feito várias parcerias com marcas de renome internacional, testando novas matérias-primas como recursos sustentáveis e inovadores para os seus produtos e trabalhando numa nova abordagem de trabalhar os materiais já existentes. Atualmente empregam mais de um milhão de colaboradores a nível internacional, estando as lojas amplamente representadas através de um *franchising* em larga escala.

A presente dissertação realizou-se na fábrica da marca em Portugal sendo a maior instalação feita por estes numa mesma área pois engloba 3 fábricas distintas. Resultante de um investimento de 155 milhões de euros, abriu portas em 2007 e emprega 1330 funcionários.

Internamente, as fábricas encontram-se em funcionamento semi-independente tendo por áreas de especialização:

- Produção de móveis de estrutura alveolar revestidos a papel, designado por *board on frame* (BOF);
- Frentes de cozinha (PFF);
- Soluções de armazenamento multiuso (*warehouse*).

Os postos de trabalho em análise na presente dissertação estão inseridos na fábrica BOF, com o objetivo da produção de *frames*.

3.2 Laboratório de investigação - DTx

O Laboratório de Investigação em Transformação Colaborativa, DTx, foi fundado a 10 de Maio de 2018, com o estatuto jurídico de associação privada sem fins lucrativos, sob a liderança do professor catedrático António Cunha, sendo um dos 26 laboratórios colaborativos aprovados nas três avaliação do concurso promovido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, 2019). Esta organização trabalha na interseção dos domínios físico, digital e cibernético com a visão de criar a próxima geração de sistemas ciber-físicos (CPS) evolutivos capazes de atenuar a fronteira entre o mundo real e o mundo virtual.

A sua estratégia está alinhada com os objetivos estratégicos da Comissão Europeia (CE) para a promoção da inovação entre os seus estados membros. Com a validade de 3 anos e um cofinanciamento do Fundo Social Europeu de mais de cerca de 4,4 milhões de euros, o DTx constitui um projeto aprovado no programa operacional regional do Norte – Norte 2020 – com o objetivo de promover a sustentabilidade e a qualidade do emprego e apoiar a mobilidade laboral. Os domínios de atuação estratégicos dividiram-se em cinco áreas (DTx Colab, n.d.-a):

- *Software* e Sistemas de Informação, incluindo Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Comunicações e Ciber-segurança;
- *Hardware* de Sensores, incluindo Micro e Nano eletrónica e Eletrónica flexível;
- Fatores Humanos, incluindo Interface Pessoa-Máquina e Questões Sociais e Éticas;
- Materiais Avançados, incluindo Materiais Inteligentes e Sustentáveis;
- Fabrico Inteligente, incluindo Processos e Gestão da Produção no contexto da Indústria 4.0.

Com o objetivo de ser um líder nacional de investigação para a transformação digital das organizações, processos e competências dos seus associados, este laboratório “*visa impulsionar a inovação ao longo de toda a cadeia de desenvolvimento do produto, desde a sua conceção até à riqueza da experiência do consumidor final, quando este acede aos sistemas ciber-físicos, que desenvolvem e transformam o produto, através de plataformas cibernéticas*” (DTx Colab, n.d.-b)). Paralelamente, o laboratório tem como finalidade a criação de emprego qualificado e emprego científico em Portugal, pela implementação de agendas de investigação e de inovação orientadas para a criação de valor económico e social.

A cultura da associação assenta nos valores de criatividade, inovação e sustentabilidade das soluções, a excelência das mesmas, o trabalho colaborativo e em equipa, a ética e integridade das atividades de investigação e gestão, o bem-estar da sociedade, o conhecimento e uso das novas tecnologias e a centralização das pessoas na sua atividade cujo talento e elevado desempenho unificam as competências.

De entre os 17 membros associados, salientam-se universidades, laboratórios, empresas e duas unidades de interface com o estatuto de membros afiliados.

Da lista de projetos que o DTx trabalha diariamente destaca-se o “*Symbiotic human-robot collaboration*” (Sapo TEK, 2020), entre outros, sendo este o projeto em que a presente dissertação se encontra inserida. Num total de 7 membros diversificados pelas áreas de Ergonomia e Segurança do trabalho, Robótica, Engenharia Biomédica, Engenharia Mecânica, o objetivo deste projeto passava pela criação de soluções na ótica da otimização das condições ergonómicas de postos de trabalho aquando da implementação da robótica colaborativa nos mesmos.

4. ANÁLISE E DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL

Neste capítulo irão ser abordadas as análises ao estado corrente de dois estudos de caso, cada um deles referente a uma gama de produtos. No primeiro estudo foi criado um posto de trabalho de pré-montagem com robótica colaborativa e automação específica no auxílio da produção de *frames* da gama A. Assim, irá ser explorada a produção tradicional, tal como ocorre num momento inicial da pré-montagem bem como a montagem da *frame* (final e completa), com o objetivo de se definir o tempo de ciclo das operações por cronometragem bem como medidas de desempenho atualmente praticadas por forma a sustentar-se a implementação do sistema colaborativo. Quanto ao segundo estudo de caso, este é referente à gama de produtos B no posto de *Cold Press*, constituindo um estudo prospetivo para a priorização daquela que seria a melhor opção de implementação de uma outra célula com robótica colaborativa.

4.1 Fluxo produtivo e ErgoVSM

A fábrica onde se desenvolveu a presente dissertação tem como finalidade a produção de móveis de estrutura alveolar revestidos a papel (do inglês, *board on frame* - BOF). Durante a fabricação BOF estão envolvidas diversas etapas em diferentes secções da fábrica responsáveis pela criação de produtos intermédios com características distintas.

Na estrutura genérica do processo – Anexo 4 - constam atividades de corte das matérias-primas recebidas em bruto, postos de trabalho de preparação (abastecimento) e transporte de materiais entre secções (impulsoras), atividades de pré-montagem e montagem vertical das *frames*, montagem BOF das placas e prensagem.

Por forma a se compreender o processo na vertente ergonómica dos postos de trabalho, foi aplicada a metodologia ErgoVSM (Jarebrant et al., 2016) para se fazer um levantamento geral das perceções e avaliações para os postos de trabalho considerados mais relevantes (realçados a cinzento). A concretização da metodologia foi conseguida de forma tripartida com a colaboração dos trabalhadores dos postos e responsáveis pelos mesmos. O objetivo foi então, mediante os parâmetros da metodologia, procurar categorizar numa escala de 1 a 10 a perceção conjunta obtida.

De salientar que este método não identifica diretamente fatores de risco, mas sim procura perceber a forma como se processa o trabalho, considerando a sua cadência, posturas adotadas, existência de tempos de descanso, tensão mental e física, assim como procura analisar o potencial ergonómico de cada posto na base do tempo de ciclo por cada peça produzida.

A cadeia de valor analisada considerou a produção da referência de *frames* A1 dado ser a referência onde a dissertação tem maior intervenção, expondo-se esta mais adiante no Estudo de Caso 1. Os resultados obtidos para a aplicação do ErgoVSM apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Aplicação da ferramenta ErgoVSM em postos manuais da montagem de frames

	Abastecimento	Pre-Montagem	Montagem Frames (Com/Sem PM)		Montagem Favo	Máquina de cola	Cold Press
Unidade produzida (u.p.)	Carrinho	3 Ripas	3 Frames		4 Frames	Placa HDF	Pilha de frames
Tempo de Ciclo (min - u.p.)	2,75	0,17	0,98	1,96	0,17	0,04	0,88
PARTE A							
<i>Ergonomia Física</i>							
Postura de trabalho - WP	4	2	4	4	4	4	2
Peso/Força - WF	5	1	3	2	4	2	2
Ergonomia física - PE	55	0,3	11,76	15,68	2,7	0,3	3,5
<i>Conteúdo de Trabalho</i>							
Exigência mental - MD	2	1,5	1,5	1,25	4,25	3,25	1,75
Controlo/Influência - CI	2	1,5	1,5	1,5	4,75	4	0,5
PARTE B							
<i>Ergonomia Física</i>							
Ergonomia física média - APE	4,5	1,3	3,46	2,82	4	2,7	1,99
Potencial de ergonomia física - PEP							
passo I	AE	D	DE	DE	C	D	DE
passo II	1	4	5	5	3	4	5
Porosidade física - PP	3,5	1,75	5,75	5,25	4,5	4,25	2,25
<i>Conteúdo de Trabalho</i>							
Potencial do conteúdo de trabalho - WCP							
passo I	A	A	A	A	A	A	A
passo II	1	2	2	2	2	1	1
Porosidade mental - MP	4	3,75	1,5	1,5	1,25	1,25	0,75
Comunicação - CO	2	1,5	0,75	0,75	1,75	1,25	0,5

Pela aplicação desta metodologia observa-se que os postos com maior potencial ergonómico serão aqueles com maior valor de PEP: montagem com e sem ripas pré feitas e *Cold Press*. Dada a cadência esperada dos processos, aqueles que traduzem um menor tempo de recuperação física (PP) são, por ordem decrescente, a montagem de *frames*, montagem do favo, máquina de cola e

abastecimento. Em termos da capacidade de comunicação e recuperação mental os postos mais afetados são a pré-montagem dada a existência de uma máquina ruidosa ao lado do posto e o abastecimento, respetivamente.

No entanto, a aplicação do ErgoVSM encontra limitações na sua aplicação. Primeiro, a unidade de base (peça(s) produzida(s)) varia com base no processo pois os *outputs* são constituídos por produtos intermédios diferentes e/ou o tempos de ciclo são calculados para a produção de mais do que uma unidade de cada vez. Isto faz com que no cálculo da ergonomia física o valor calculado varie em diferentes proporções, pois sendo o output representativo de um conjunto de manipulações/criação de várias peças, o processo demora mais tempo aumentando o PE. Da mesma forma, a aplicação do ErgoVSM para outras referências de *frames* poderá originar resultados diferentes dada a diferente complexidade entre a estrutura das *frames*, o que faz com que postos que neste caso se apresentem como prioritários possam deixar de o ser. Por fim a maioria dos postos de trabalho, no processo respetivo, é processado apenas pelos trabalhadores do posto o que faz com que não haja diferentes intervenientes a executar funções diferentes (ex. na 'montagem das *frames*', embora o posto seja abastecido por trabalhadores externos ao posto, na construção da *frame* só são intervenientes as trabalhadoras que aqui estão). Desta forma, as opiniões acerca das suas perceções cingem-se apenas a um tipo de trabalho, não sendo possível calcular-se potencial ergonómico do posto com base em diferentes tarefas executadas num mesmo processo.

4.2 Estudo de caso 1

De acordo com dados da produção da empresa, atualmente são produzidas mais de 240 gamas de produtos, sendo cerca de 40 relativas a mobiliário (armários, estantes, prateleiras e cómodas). Destes, salienta-se a gama A que representa uma coleção de estantes para arrumação, podendo ter diversas formas de aplicação (no chão, na parede ou até mesmo como uma secretária), de fácil personalização, variados tamanhos e cores.

Este estudo de caso foi centrado na produção de uma referência de *frames* que compõe esse tipo de mobiliário. A produção de *frames* está distribuída entre dois postos de trabalho distintos, localizados em zonas diferentes da fábrica nomeadamente a pré-montagem e a montagem.

Numa zona da fábrica onde apenas operam mulheres, o posto da pré-montagem é somente responsável pela criação de ripas em HDF para uma das quarenta referências de *frames* – a A1 (gama: A, referência da *frame*: 1) –, atribuída à zona lateral da gama de produtos supra mencionada.

Atualmente, neste posto produzem-se dois diferentes tipos de ripas para essa referência (simples ou dupla) que entrarão na operação de montagem final como *input*, juntamente com outros materiais.

A lista de materiais bem como as características mensuráveis desta *frame* encontra-se representada na Figura 11 (cola quente não incluída).

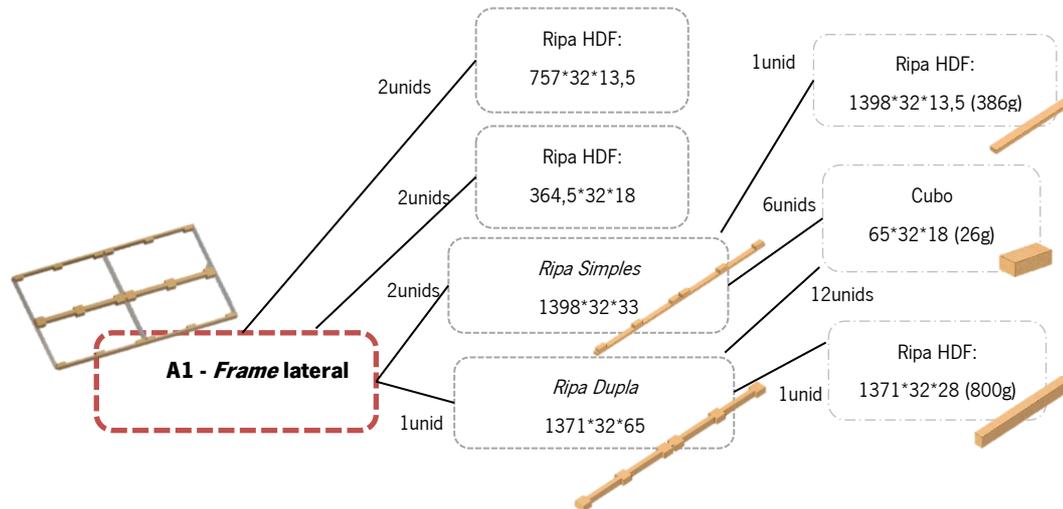


Figura 11 - Lista de materiais da frame A1

4.2.1. Secção de pré-montagem – Estudo de tempos

A secção de pré-montagem surgiu da necessidade de acomodar de forma segura e atenta trabalhadoras que estavam limitadas ao nível musculoesquelético na execução das suas funções. Tendo, outrora, desempenhado funções na secção da montagem onde operaram acima do nível dos ombros durante anos, posto este com carácter repetitivo e contínuo, estas trabalhadoras passaram a auxiliar o posto de montagem pré-preparando as ripas que lá são necessárias. Este posto de trabalho foi criado com o intuito de reduzir o número de movimentos acima da altura dos ombros, minimizar os movimentos intensos e inadequados ao nível do pulso tendo sido desenhado para ter uma altura adequada assim como o abastecimento de blocos e ripas serem feitos em zonas facilmente alcançáveis. O posto de trabalho em questão era relativamente recente e estava a ser alvo de estudo para a implementação de um *robot* colaborativo no auxílio de operações repetitivas de carácter manual, logo traduzia uma grande importância de estudo para a obtenção de informação concreta, precisa e realista.

Importa referir que o mesmo posto não é ativado para produção em intervalos de tempo regulares, já que apenas é requerido aquando da falta de *stock* de ripas já pré-montadas. Mesmo assim, é de evidenciar que a paragem deste posto não determina a paragem dos postos de trabalhos seguintes pois é possível executar a montagem da *frame* sem as ripas pré-montadas. As trabalhadoras que aqui se encontram, embora condicionadas fisicamente, possuem valências que lhes permitem executar

tarefas não só no posto de pré-montagem como também inspeção, sendo então necessárias e requisitadas em postos de trabalho diferentes conforme necessidade.

Na Figura 12 encontra-se representado o posto de pré-montagem.

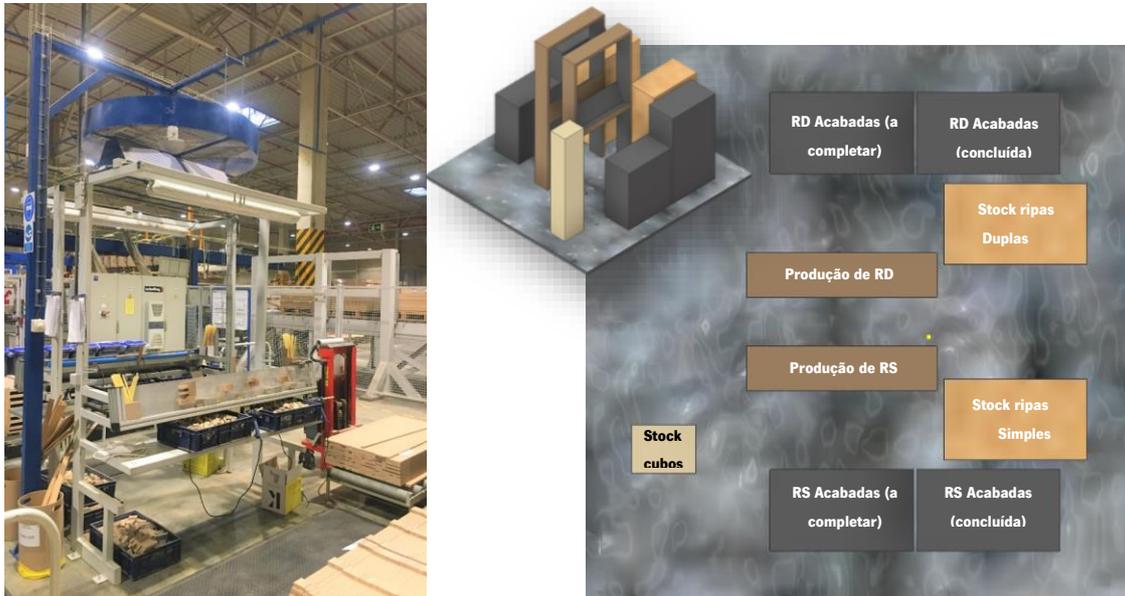


Figura 12 – Representação do posto da pré-montagem inicial

Como referido anteriormente, a primeira fase da aplicação da metodologia do Lean Seis Sigma (LSS) consiste na definição do problema. Nesse sentido, era importante conhecer o posto da pré-montagem na situação existente perspetivando (i) o conhecer detalhadamente as formas de operação dos postos em questão e as relativas posturas adotadas, (ii) determinação dos tempos normalizados e padrão dos elementos bem como de ciclo, (iii) análise sobre quais os elementos com maior peso relativo e as causas e (iv) a identificação de desperdícios no processo.

Como se verá adiante, existem tarefas partilhadas entre as trabalhadoras onde estas operam em conjunto. Para esses casos, a distribuição e a influência de cada uma delas nas cargas manipuladas encontra-se no Anexo 5.

Com o objetivo da determinação do tempo normalizado de ciclo foi aplicado o estudo de tempos por cronometragem. Como mencionado na Tabela 3, o presente estudo englobou cinco fases, desde a decomposição da atividade em elementos básicos até à reflexão sobre os resultados obtidos.

Etapa 1: Escolha da atividade e decomposição em elementos

Para a concretização desta cronometragem, numa primeira fase, escolheram-se as tarefas a observar – pré-montagem (PM) de duas referências de ripas (simples e duplas) por parte das duas trabalhadoras. Durante este estudo distingue-se as trabalhadoras por '-Trabalhadora 1-', sendo que é

esta que se encontra mais perto do *stock* de ripas lateral, e a 'Trabalhadora 2'. No seu modo de operação, elas conseguem trabalhar três ripas de cada vez pelo que o estudo dos tempos contempla o aproveitamento máximo da mesa para uma maior produção em simultâneo. Num total de quatro atividades, estudou-se os tempos das seguintes combinações: Produção da ripa simples pela Trabalhadora 1 (RS_{T1}); Produção da ripa simples pela Trabalhadora 2 (RS_{T2}); Produção da ripa dupla pela Trabalhadora 1 (RD_{T1}); e Produção da ripa dupla pela Trabalhadora 2 (RD_{T2}).

Sendo importante distinguir as atividades conforme a referência produzida e as trabalhadoras, estas quatro atividades de ciclo curto e repetitivo foram passíveis de serem divididas em diferentes procedimentos elementares, conforme representado na Tabela 9.

Tabela 9 - Decomposição da atividade da pré-montagem em elementos

	Ripa Simples		Ripa Dupla	
	Trabalhadora 1	Trabalhadora 2	Trabalhadora 1	Trabalhadora 2
Elemento 1	Pegar nas ripas cortadas	Esperar	Pegar nas ripas cortadas	Esperar
Elemento 2	Colocar as ripas na mesa de trabalho	Ajudar a colocar as ripas na mesa de trabalho	Colocar as ripas na mesa de trabalho	Ajudar a colocar as ripas na mesa de trabalho
Elemento 3	Escrever anotação	Selecionar os cubos da caixa	Escrever anotação	Selecionar os cubos da caixa
Elemento 4	Selecionar os cubos da caixa	Aplicar cola	Selecionar os cubos da caixa	Aplicar cola
Elemento 5	Aplicar cola	Fixar os cubos	Aplicar cola	Fixar os cubos
Elemento 6	Fixar os cubos	Colocar as ripas prontas na palete	Fixar os cubos	Virar
Elemento 7	Colocar as ripas prontas na palete		Virar	Selecionar os cubos da caixa
Elemento 8			Escrever anotação	Aplicar cola
Elemento 9			Selecionar os cubos da caixa	Fixar os cubos
Elemento 10			Aplicar cola	Colocar as ripas prontas na palete
Elemento 11			Fixar os cubos	
Elemento 12			Colocar as ripas prontas na palete	

Como se pode observar, os elementos das atividades, em maior parte das situações, são os mesmos. Seguidamente elucida-se em que consiste cada um dos elementos:

- Pegar nas ripas cortadas: abarca o intervalo de tempo desde que a Trabalhadora 1 alcança as novas ripas para manipulação, existentes no *stock* lateral, até que as pouxa na mesa de trabalho;

- Esperar: inclui o intervalo de tempo durante o qual a Trabalhadora 2 espera pela Trabalhadora 1 enquanto esta pega nas novas ripas até que as pouxa na mesa de trabalho;

- Colocar/ajudar as ripas na mesa de trabalho: expressa o momento em que ambas as trabalhadoras operam em conjunto no encaixe das novas ripas no suporte da mesa sendo que traduz o intervalo de tempo até que a ripa, já pouxada no suporte, é efetivamente colocada e ajustada no respetivo sítio – Figura 13;



Figura 13 - Elemento da atividade - PM: Colocação das ripas na mesa de trabalho

- Escrever anotação: este elemento representa a inscrição de uma marca gráfica por parte da Trabalhadora 1 no lado esquerdo da ripa, o qual indica não só o lado que têm a tolerância definida pela contra-peça, como também a referência ao turno em que a ripa é produzida através da cor. É um elemento importante para prevenir situações de qualidade no decorrer da produção da *frame* pois é necessário que a ripa pronta seja devidamente colocada na orientação da sua fabricação aquando da sua inserção na construção da *frame* na montagem final – Figura 14;



Figura 14 - Elemento da atividade - PM: Escrever anotação

- Fixar os cubos: abrange o intervalo de tempo em que cada Trabalhadora pega em cada trio de cubos e os fixa na zona respetiva, aplicando uma ligeira pressão para a sua melhor fixação;

- Colocar as ripas prontas na palete: expressa o momento em que ambas as trabalhadoras operam em conjunto na extração da ripa pronta da mesa de trabalho e a colocam na palete de ripas

acabadas existente da parte de trás da sua zona de operação, ajustando-a devidamente às existentes na palete;

- Selecionar os cubos da caixa: engloba o instante de tempo em que cada Trabalhadora pega nos 9 cubos de HDF (3 unidades/ripa) da cesta em que estão armazenados e os coloca em cima das ripas – Figura 15;

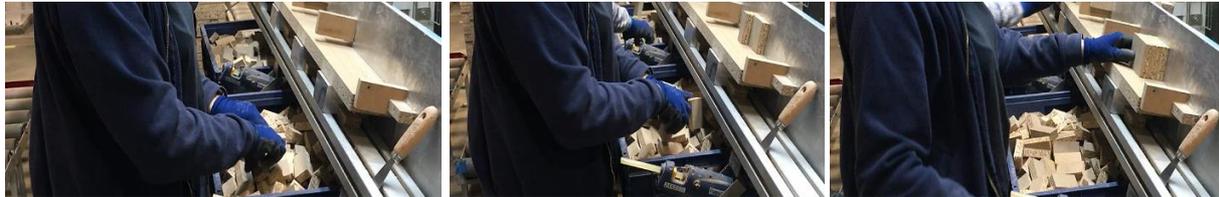


Figura 15 - Elemento da atividade - PM: Seleção de cubos

- Aplicar cola: abrange o tempo em que cada Trabalhadora pega na máquina de cola quente e aplica a cola nos 3 sítios respetivos, na ordem por elas definidas – Figura 16;



Figura 16 - Elemento da atividade - PM: Aplicação de cola

- Virar: aquando da execução da ripa dupla é necessário que esta seja virada 180° para a colocação dos cubos do lado oposto portanto neste elemento será registado o tempo desde que as trabalhadoras, operando em conjunto, pegam na ripa semiacabada, retiram-na do suporte, viram-na e voltam a encaixá-la no suporte – Figura 17.

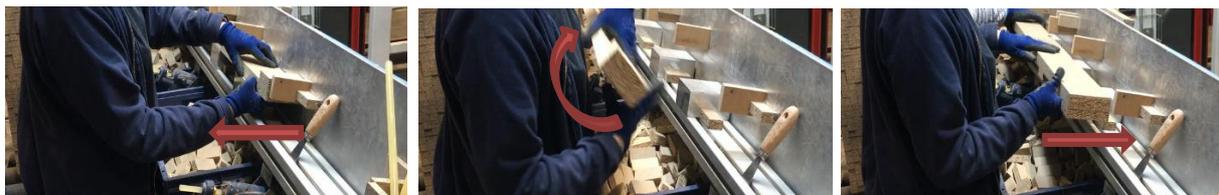


Figura 17 - Elemento da atividade - PM: Rotação das ripas

Etapa 2: Criação da folha de tempos observados

Seguidamente, observou-se o processo e recolheram-se tempos (em segundos) - TO_i - com o auxílio de um telemóvel e respetivas filmagens, para um número N_i de observações iniciais de 28 (ripas simples) e 25 (ripas duplas), para cada elemento.

Por forma a certificar que o número de vezes observado para cada elemento era suficiente face à precisão estipulada para a medição, foi calculado o valor de N_i' (Equação 1). Para tal assumiu-se:

- Um nível de confiança de, pelo menos, 90%, o qual gerava, pela distribuição normal, um valor de $Z = 1,29$;

- Um erro ε dos resultados de 0,05;

- O valor médio dos tempos dos elementos (m_i), bem como o respetivo desvio padrão (s_i).

$$N_i' = \left(\frac{Z \cdot s_i}{\varepsilon \cdot m_i} \right)^2 \quad (1)$$

Proseguiu-se a comparação dos valores N_i' obtidos com o N_i . Nas situações onde se verificava que seriam precisas mais observações ($N_i' > N_i$), foram completados os registos de tempo necessários e novamente recalculados os parâmetros acima referenciados - m_i e s_i . As folhas de cálculo obtidas com os tempos preliminares observados, fatores de atividade e cálculo do N_i' encontram-se apresentadas no Anexo 6.

Etapa 3: Julgamento da atividade

Nesta fase, importou perceber qual era a atividade de referência para o posto da pré-montagem. Como tal, foi feita a avaliação objetiva com o auxílio dos responsáveis pelo posto e dos chefes de linha, onde foi possível estabelecer um ritmo padrão com base nas filmagens observadas, sendo este considerado como referência, aplicável a toda a empresa. A partir deste e observando o filme, apenas considerando o ritmo de trabalho e não a dificuldade da tarefa, foram subjetivamente atribuídos fatores de atividade a cada elemento de cada ciclo. Por sua vez, a estes, numa segunda fase, foi atribuído um ajustamento de dificuldade face às dificuldades de execução com base em valores empíricos determinados experimentalmente – Anexo 7. Os ajustamentos aplicados às atividades associadas à pré-montagem inicial das ripas simples e duplas encontra-se presente no Anexo 8.

Etapa 4: Ajustamentos aplicados e Tempo Normalizado

Tendo já obtido um número suficiente de observações e avaliados os devidos ajustamentos foi possível chegar aos tempos normalizados por cada um destes elementos- TN_i (Equação 2) - e tempo normalizado de ciclo - TN_{ciclo} (Equação 3).

$$TN_i = \frac{m_i \cdot FA_i \cdot (1 + \sum \text{ajust}_i(\%))}{100} \quad (2)$$

$$TN_{ciclo} = \sum_{i=1}^{n^o \text{ elementos}} TN_i \quad (3)$$

Etapa 5: Resultados obtidos e conclusões

Após a realização dos cálculos relativos ao tempo normalizado (TN), obtiveram-se os seguintes resultados para a ripa simples, presentes na Tabela 10, e para a ripa dupla, presentes da Tabela 11.

Tabela 10 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM inicial) – RS

		<i>TO médio (seg)</i>	<i>FA médio</i>	<i>Ajustamentos (%)</i>	<i>FA ajustado</i>	<i>TN (Seg)</i>	<i>TN Ciclo (seg)</i>
Trabalhadora 1	Elemento 1	2,20	97	11	107	2,36	28,38
	Elemento 2	1,76	108	12	121	2,12	
	Elemento 3	1,30	104	4	108	1,41	
	Elemento 4	6,48	99	11	110	7,13	
	Elemento 5	3,70	103	8	111	4,10	
	Elemento 6	7,44	103	11	114	8,48	
	Elemento 7	2,44	104	10	114	2,78	
Trabalhadora 2	Elemento 1	2,29	103	1	104	2,39	27,23
	Elemento 2	1,49	105	10	115	1,72	
	Elemento 3	5,98	100	11	111	6,62	
	Elemento 4	4,78	96	8	104	4,98	
	Elemento 5	7,65	104	11	115	8,82	
	Elemento 6	2,45	100	10	110	2,71	

Numa primeira análise à Tabela 10, face aos tempos médios obtidos por elemento e os fatores de atividade médios pode-se concluir que, na maioria dos elementos, a tarefa está a ser executada acima ou bastante próxima do ritmo dito normal já que o fator de atividade médio correspondente ronda os 100%. Este resultado era expectável uma vez que se tratam de tarefas simples, de manipulação da ripa em locais próximos ou no próprio posto de trabalho. A partir do momento em que se incorpora os ajustamentos de dificuldade (Mundel, 1955), era também expectável que o fator de atividade ajustado e, conseqüentemente, os tempos normalizados aumentassem pois passa-se a incorporar a componente fisiológica do ser humano, incluindo na abordagem dos tempos a questão da aptidão, habilidade e esforço.

Numa segunda análise, é possível observar que a fixação dos cubos, sendo a operação principal, é a que apresenta o maior tempo normalizado graças ao facto de requerer uma maior atenção por parte das operadoras pois têm de despende de mais tempo para garantir que o cubo e a cola quente aderem devidamente na ripa, sem deslizar, mantendo a sua posição ao longo do tempo.

Tabela 11 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM inicial) – RD

		<i>TO médio (seg)</i>	<i>FA médio</i>	<i>Ajustamentos (%)</i>	<i>FA ajustado</i>	<i>TN (seg)</i>	<i>TN Ciclo (Seg)</i>
Trabalhadora 1	Elemento 1	2,04	98	12	110	2,25	50,96
	Elemento 2	1,54	96	13	109	1,68	
	Elemento 3	1,06	100	4	104	1,10	
	Elemento 4	6,44	99	11	110	7,11	
	Elemento 5	3,50	105	8	114	3,97	
	Elemento 6	7,23	101	11	112	8,09	
	Elemento 7	2,63	102	12	114	2,99	
	Elemento 8	1,23	99	4	103	1,26	
	Elemento 9	6,32	101	11	112	7,08	
	Elemento 10	3,94	99	8	107	4,23	
	Elemento 11	6,74	100	11	111	7,51	
	Elemento 12	3,24	103	11	114	3,69	
Trabalhadora 2	Elemento 1	2,12	101	1	102	2,16	51,46
	Elemento 2	1,39	104	10	114	1,59	
	Elemento 3	6,10	104	11	116	7,07	
	Elemento 4	4,59	101	8	110	5,03	
	Elemento 5	7,03	101	11	112	7,88	
	Elemento 6	3,45	99	12	111	3,83	
	Elemento 7	6,32	102	11	113	7,15	
	Elemento 8	4,63	96	8	103	4,79	
	Elemento 9	6,70	101	11	112	7,53	
	Elemento 10	4,04	99	11	110	4,44	

Da mesma forma, no caso da ripa dupla as conclusões foram semelhantes tendo mais uma vez todas as atividades sido executadas de forma igual ou mais rápida que a de referência sendo a atividade principal a fixação de cubos.

Analisando a relação entre ambas as trabalhadoras, como se pode observar pelos diferentes gráficos obtidos – Figura 18 e Figura 19-, nos dois casos estas operam a um ritmo semelhante tendo apenas ligeiras diferenças de tempo nos elementos de colocação das ripas prontas na palete. Isto acontece no caso da ripa dupla, já que é a Trabalhadora 2 que despende mais tempo a ajustar as ripas lá colocadas às já existentes dado existirem mais cubos, o que faz com que o encaixe exija mais controlo e precisão. Em ambas as ripas é a Trabalhadora 2 que necessita de mais tempo para - aplicar a cola - enquanto a Trabalhadora 1 precisa de mais tempo para - seleccionar os cubos da caixa-. Já no caso da ripa dupla, como a ripa tem de ser virada por ambas as trabalhadoras em simultâneo, o facto de a Trabalhadora 1 possuir mais uma operação até esta fase (escrever anotação) faz com que a Trabalhadora 2 ganhe esse tempo de avanço e acabe por esperar um pouco de tempo mais para virar a ripa, daí a diferença observada no gráfico (T1: 2,99 seg e T2: 3,83 seg).

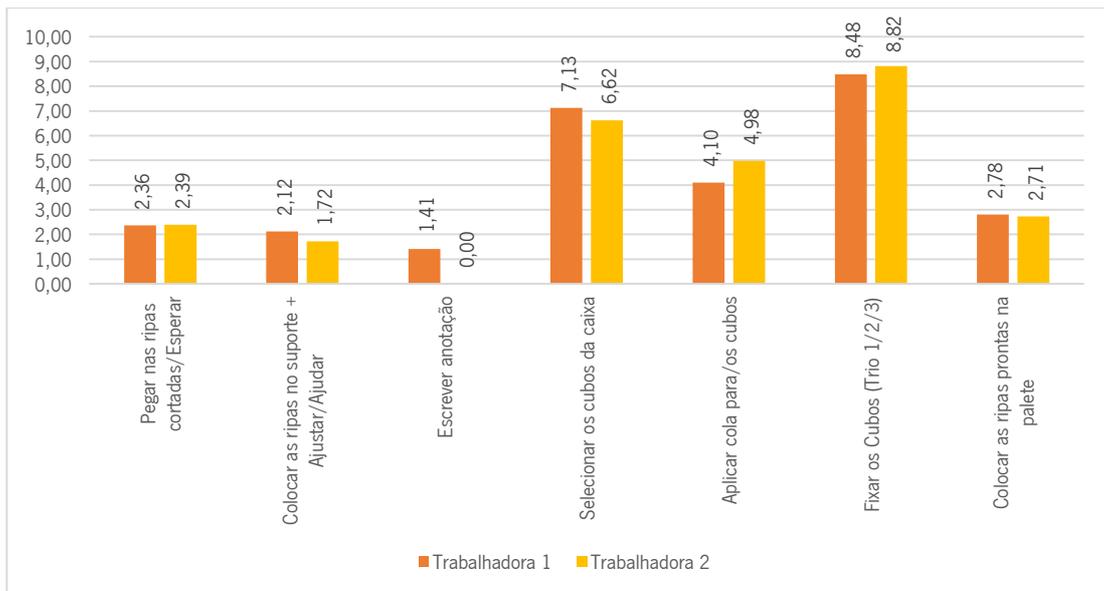


Figura 18 - Comparação de tempos normalizados (seg) _PM inicial: Ripa Simples, T1 e T2

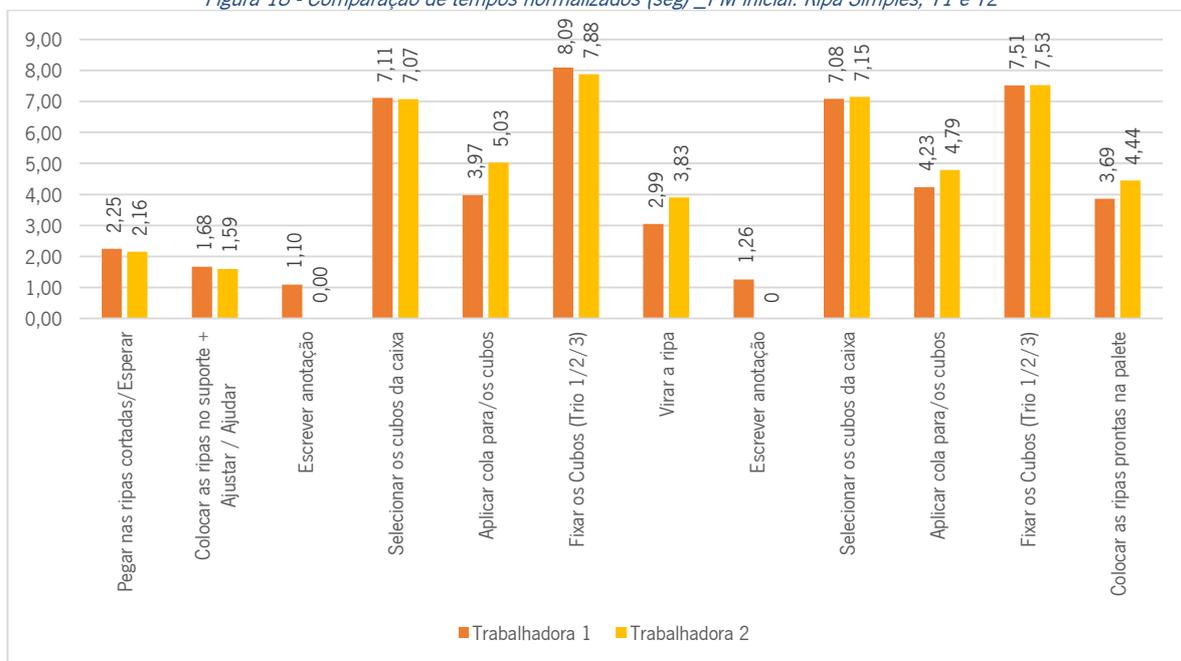


Figura 19 - Comparação de tempos normalizados (seg) _PM inicial: Ripa Dupla, T1 e T2

Assumindo o maior tempo normalizado para cada elemento de cada trabalhadora por tipo de ripa como o valor de tempo limitante para a atividade, foram construídas duas análises de Pareto respeitantes a cada tipo de ripas para verificar-se a influência de cada elemento no processo.

No caso concreto dos tempos da pré-montagem, em ambas as ripas casos observou-se que a atividade que apresenta maior influência no tempo de ciclo é a fixação dos cubos, seguida da seleção de cubos da caixa e aplicação de cola para os cubos. Em qualquer destes, a sequência de elementos observada é a mesma o que indica que tanto na produção das ripas simples como duplas, embora com tempos de ciclo diferentes, a contribuição dos diversos elementos assume o mesmo tipo de importância

relativa no decorrer do processo. Embora não se encontrassem demarcadas assertivamente as categorias 20/30/50 previamente mencionadas no capítulo 2.4.2, as análises permitiram distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Ripa Simples: Classe A (Fixar os Cubos, 14% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 29% do tempo normalizado de ciclo), Classe B (Selecionar os cubos da caixa e aplicar cola para os cubos, 29% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 41% do tempo normalizado de ciclo) e Classe C (restantes elementos, 57% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 30% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 20;

- Ripa Dupla: Classe A (Fixar os Cubos (baixo/cima), 17% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 29% do tempo normalizado de ciclo), Classe B (Selecionar os cubos da caixa (baixo/cima) e aplicar cola para os cubos (baixo/cima), 33% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 44% do tempo normalizado de ciclo) e Classe C (restantes elementos, 50% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 27% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 21.

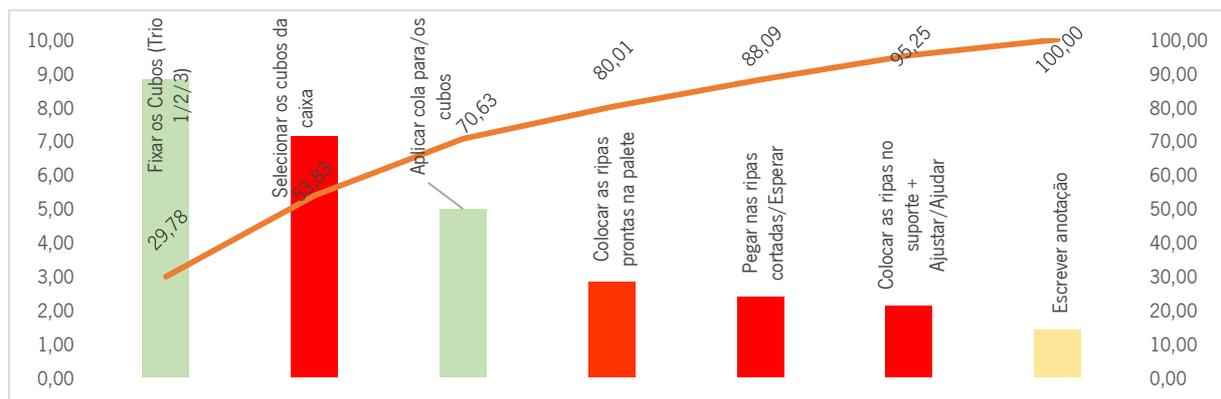


Figura 20 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Simples - PM inicial

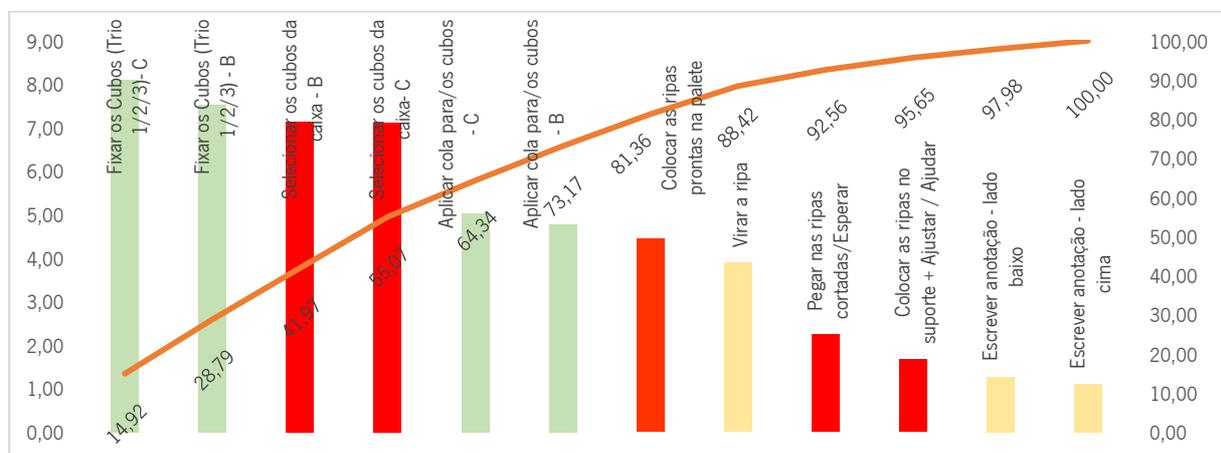


Figura 21 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Dupla - PM inicial

Na Tabela 12 encontram-se representados os elementos da atividade em questão bem como a sua contribuição em valor para o processo sendo divididas em 3 categorias conforme acrescentam valor para o processo/produto (V), não têm valor mas são necessárias (nVN) ou não têm valor (nV).

Tabela 12 - Relação dos elementos com a sua agregação de valor

Elemento	<i>Pegar nas ripas cortadas</i>	<i>Esperar</i>	<i>Colocar as ripas na mesa de trabalho</i>	<i>Ajudar a colocar as ripas na mesa de trabalho</i>	<i>Escrever anotação</i>	<i>Selecionar os cubos da caixa</i>	<i>Aplicar cola</i>	<i>Fixar os cubos</i>	<i>Virar</i>	<i>Colocar as ripas prontas na palete</i>
Valor	nV	nV	nV	nV	nVN	nV	V	V	nVN	nV
Desperdício	Stock, Movimentação	Espera	.	Sobre processamento	Defeitos	.	.	.	Defeitos	Stock

No caso concreto do estudo e com base nos tempos normalizados obtidos, chegou-se à conclusão que os elementos que acrescentam valor ao produto apenas representam cerca de 47% em ambos os tipos de ripa, sendo os outros distribuídas em 17% e 36% entre não agregar valor e/ou serem necessárias no caso da ripa simples e 12/41% das mesmas, respetivamente, no caso da ripa dupla – Figura 22.

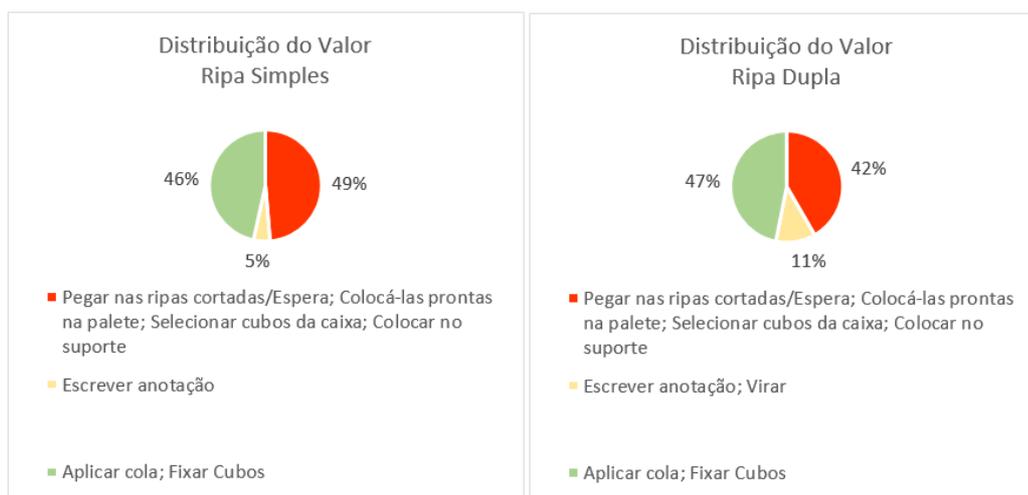


Figura 22 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos _ PM inicial

Embora a minoria do tempo investido pelos elementos supra mencionados não acrescentam valor ao processo de forma direta, são indispensáveis na atual conjuntura do posto de trabalho. Para tornar o posto de trabalho mais eficiente, importava diminuir as percentagem de tempo que não agregava

valor. Assim, importava redesenhar a atividade e o posto de trabalho, tentando eliminar alguns destes elementos ou, na impossibilidade, padronizar o método de trabalho pois, mesmo sendo o processo relativamente rápido, existem elementos cuja operação não segue o mesmo método para ambas as trabalhadoras. No entanto, para estas observações, o tempo normalizado de ciclo obtido foi de aproximadamente 28 segundos para a ripa simples e 51 segundos para a ripa dupla.

Aplicação das correções e Tempo Padrão

Com a participação dos responsáveis do posto de trabalho e das trabalhadoras, foi importante chegar-se ao valor de tempo não produtivo praticado por estes no decorrer de um dia de trabalho. Para tal, consideraram-se os valores de produção de 280 ripas simples/hora e de 140 ripas duplas/hora.

Durante um dia e trabalho incluem-se:

- Tempos de arranque do posto de trabalho;
- Tempos de pausa e almoço;
- Tempo concedido à abertura de uma nova palete com a sua devida inspeção no que toca ao comprimento da mesma;
- Tempo de medição da primeira ripa fabricada a cada hora;
- Tempo de limpeza do posto de trabalho no final da sua utilização e/ou revisão de documentos bem como o preenchimento de folhas de controlo existentes;
- Tempo durante o qual as trabalhadoras reabastecem o posto de trabalho com as caixas de cubos;
- Tempo de encerramento de uma palete de produto acabado;
- Tempo de inserção de uma nova palete e a sua elevação com a empilhadora até ao nível pretendido;
- Intervalo de tempo em que são colocadas as fitas de HDF a cada cerca de 40 cm de lances de ripas de modo a garantir a estabilidade;
- Instantes de tempo durante os quais as paletes são elevadas durante o seu preenchimento com as ripas acabadas e/ou ripas (*input*);
- Tempo durante o qual as trabalhadoras são abordadas ou abordam pessoas da empresa/visitantes/outros operadores - Introdução de tubos de cola na pistola durante o processo produtivo.

Seguidamente encontra-se representado na Tabela 13 o tempo despendido nestas operações durante um turno de trabalho de 8 horas/dia conforme o tipo para cada tipo de ripas.

Tabela 13 - Tempos não produtivos durante um dia de trabalho – PM inicial

	Ripa Simples	Ripa Dupla
Tempo de arranque		4min45
Pausa almoço		30min
Intervalo manhã		5min
Início de palete (input)		5min
Troca de palete	2,5 min/palete * 4,8 paletes/dia	2,5 min/palete * 5,3 paletes/dia
Medição primeira ripa	8h Trabalho * 1 Ripa/h * 30seg/ripa	
Limpeza		10min
Pegar em cubos	4,8 Paletes/dia * 12,5 Caixas cubo/palete*	5,3 Paletes/dia * 12,4 Caixas cubo/palete*
	15seg/transporte de caixa	15seg/transporte de caixa
Fechar palete	16seg/palete* 4,8 paletes/dia	16seg/palete* 5,3 paletes/dia
Colocar nova palete PA	1min/palete * 4,8 paletes/dia	1min/palete * 5,3 paletes/dia
Ajuste das paletes	10seg/deslocação* 5 deslocações/palete * 4,8 paletes/dia	10seg/deslocação* 5 deslocações/palete * 5,3 paletes/dia
Colocar fita entre andares	3 Colocações de fita/palete*	2 Colocações de fita/palete*
	15seg/colocação* 4,8 paletes/dia	15seg/colocação* 5,3 paletes/dia
Colocar cola na pistola	3seg/troca*20 Trocas/palete*4,8 paletes/dia	3seg/troca*20 Trocas/palete*5,3 paletes/dia
Comunicações		20min
Tempo não produtivo	2,07h	2,13h
Tempo disponível total	5,93h	5,87h

Para o caso da pré-montagem, as correções de repouso variáveis, os parâmetros qualitativos e quantitativos considerados encontram-se devidamente descritos no Anexo 9. Todas as outras estão descritas na Tabela 14.

Tabela 14 - Correções aplicáveis na pré-montagem inicial

Categoria da correção	Tipo de correção	% Aplicável
Correção de Repouso Fixa	Necessidades pessoais	7,3%
Correção de Repouso Variável	-	Ripa Simples: 13,0% Ripa Dupla: 13,0% / 14,0% Consultar Anexo 9 (Separador 'Inicial')
Correção Especial	Arranque	1,0%
	Limpeza	2,1%
	Paragem	4,2%
	Controlo periódico	1,0%
Correção por demoras inevitáveis		Ripa Simples: 3,56%; Ripa Dupla: 5,42%

O tempo padrão dos j elementos foi determinado com base na Equação 4, não contemplando a inclusão das correções especiais por arranque e limpeza, já que apenas são contabilizadas para o cálculo da produção diária,

$$TP_j = TN_j * (1 + \sum C_j(\%)) \quad (4)$$

Seguidamente encontram-se representados os valores padrão obtidos.

Tabela 15 - Tempos padrão (em segundos) dos elementos e de ciclo – PM inicial

L	Ripa Simples		Ripa Dupla	
	<i>Trabalhadora 1</i>	<i>Trabalhadora 2</i>	<i>Trabalhadora 1</i>	<i>Trabalhadora 2</i>
Elemento 1	3,09	3,13	3,01	2,87
Elemento 2	2,78	2,25	2,25	2,12
Elemento 3	1,84	8,66	1,47	9,40
Elemento 4	9,33	6,52	9,54	6,69
Elemento 5	5,37	11,55	5,33	10,48
Elemento 6	11,10	3,54	10,86	5,09
Elemento 7	3,64		4,02	9,50
Elemento 8			1,70	6,37
Elemento 9			9,50	10,01
Elemento 10			5,68	5,96
Elemento 11			10,08	
Elemento 12			4,96	
T. Padrão	37,15	35,65	68,39	68,50

4.2.2. Secção de pré-montagem – Estudo Ergonómico

Paralelamente ao estudo de tempos, ainda foi feita a avaliação ergonómica ao posto de trabalho por forma a quantificar o risco de desenvolvimento de LMERT. Os resultados encontram-se publicados no artigo de Colim, Faria, et al. (2020).

Com o objetivo da avaliação postural foi aplicado o método RULA (abordado no capítulo 2.4.3), bem como um método de avaliação da sobrecarga física das operações de natureza manual e repetitiva que envolve predominantemente pouco dispêndio de força das extremidades superiores – o KIM-MHO (do inglês *Key Indicator Method- Manual Handling Operations*) (Klussman et al., 2017).

Pela análise da Tabela 16 pode-se observar que são as Tarefas 6 e 9 as que apresentam uma maior pontuação RULA, sendo que a primeira tem maior impacto nos membros superiores dada a postura praticada na fixação dos cubos na ripa. Se pela análise RULA se verifica a necessidade do redesign do posto de trabalho bem como a reformulação de algumas das tarefas já que todas aquelas apresentam algum tipo de risco, pela análise KIM-MHO observa-se que a Tarefa 4 é a que apresenta uma pontuação de risco mais alta estando associada a uma elevada sobrecarga física. Tendo as trabalhadoras do posto já queixas e/ou lesões nos membros superiores e considerando que a pontuação obtida neste método é calculada com base na duração de um ciclo e as repetições por turno, sendo este

valor transversal a todas as tarefas da pré montagem, os resultados entre os métodos são conclusivos sobre a importância do design do posto de trabalho na melhoria das condições de trabalho das operadoras.

Tabela 16 – Resultados da avaliação RULA e do KIM-MHO no posto de pré-montagem inicial (Fonte: Colim et al (2020))

Tarefa	Rula		KIM-MHO	
	Classificação média (DP)	Nível de Risco	Pontuação de Risco	Nível de Risco
T1. Alcançar a ripa e alinhar	3,2 (0,4)	II	48	III
T2. Alcançar os cubos e empilhá-los	3,6 (0,9)	II	48	III
T3. Alcançar a pistola de cola	3,0 (0,0)	II	34	III
T4. Aplicar cola nos cubos	3,0 (0,0)	II	64	IV
T5. Colocar a pistola de cola no suporte	3,0 (0,0)	II	0,4	III
T6. Fixar os cubos na ripa	4,4 (0,5)	II	48	III
T7. Virar a ripa	3,0 (0,0)	II	30	III
T8. Retirar a ripa da mesa de trabalho	3,2 (0,4)	II	40	III
T9. Transferir a ripa da mesa para a paleta	4,4 (1,3)	II	46	III
T910. Abastecer a pistola de cola	3,0 (0,0)	II	44	III

Já na análise da ergonomia do espaço de trabalho (EWA), oito trabalhadoras que já tinham operado na pré-montagem foram questionadas na atribuição de pontuações de 1 a 4 de acordo com a avaliação gráfica da escala do método. Assim, a pontuação de 1 era atribuída a fatores com uma avaliação muito boa (++) e a pontuação de 4 a fatores que não estão nada bons (-). Para cada um dos parâmetros foi calculada a média e o desvio padrão das pontuações obtidas. Como se verifica pela Tabela 17, as avaliações negativas (média de pontuações entre 3 e 4) recaem sobre a difícil comunicação entre trabalhadoras e/ou superiores face ao ruído existente naquela área. O risco de ocorrerem acidentes, embora com baixa frequência, está relacionado com a queda da pistola de cola quente assim como possíveis queimaduras com a mesma cola.

Tabela 17 – Resultados da aplicação do método EWA na PM inicial (Fonte: Colim et al. (2020))

	Espaço de trabalho	Atividade física em geral	Tarefas de elevação manual de cargas	Posturas e movimentos	Risco de acidente	Conteúdo Laboral	Restritividade do trabalho	Comunicação e contactos pessoais	Tomada de decisão	Repetitividade das tarefas	Nível de atenção	Iluminação	Condições Térmicas	Ruído
Média	1,88	1,75	1,75	1,75	2,38	2,50	2,63	3,00	1,75	2,38	2,63	1,50	2,38	3,75
DP	0,35	0,46	0,46	0,89	0,52	0,53	0,52	0,93	0,46	0,52	0,52	0,53	0,52	0,71

Na Figura 23 apresenta-se a percepção do esforço psicofísico avaliado pela escala de Borg-10 (tal como aplicada por Shariat et al., (2018)) relativa às tarefas da pré-montagem. Como se observa, é a tarefa de aplicação de cola que apresenta a média de pontuação mais elevada e que, estando associada à repetitividade de ações aquando dos ciclos contínuos de trabalho sobre a pistola e/ou ao aumento da dificuldade do alcance desta quando o suporte não está limpo, se traduz num agravamento do fator de risco.

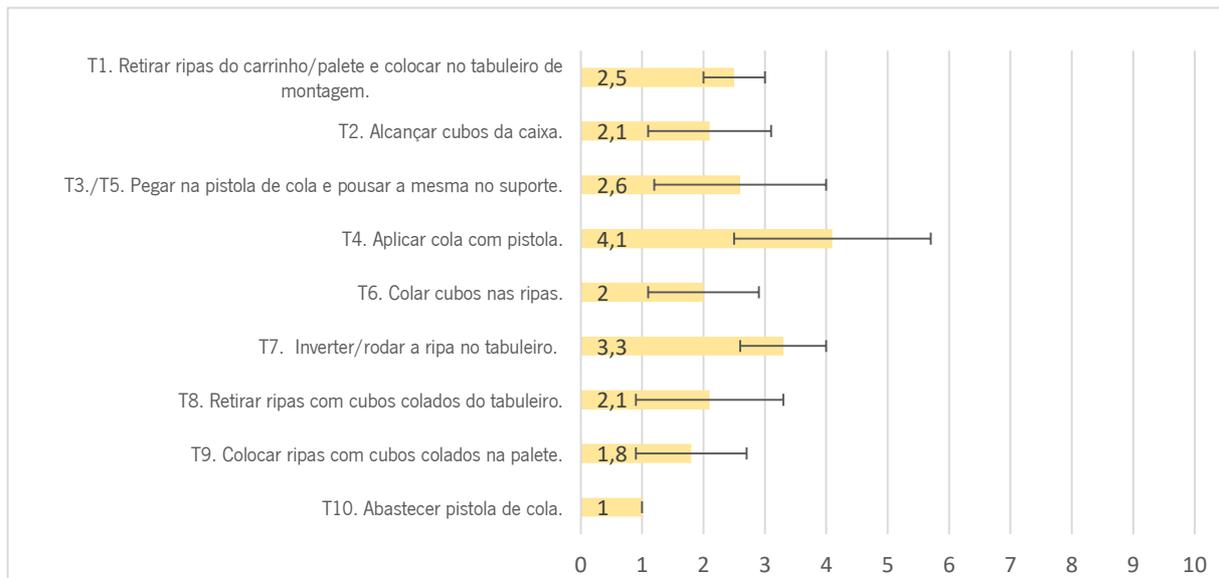


Figura 23 – Resultados da avaliação das tarefas da PM tradicional quanto ao esforço percebido (Fonte: Colim et al. (2020))

Quando interrogadas acerca do posto da pré-montagem por comparação ao posto de montagem vertical, a opinião global das trabalhadoras mostrava uma percepção positiva ao mesmo, segundo a escala de Likert-5 concluindo-se que efetivamente o posto da pré-montagem tradicional resultava numa melhoria do bem-estar destas. Mesmo tendo o posto da pré-montagem surgido devido à necessidade de acomodar trabalhadoras com LMERT e se demonstrar favorecedor das suas condições laborais, assim ainda tinha problemas, aos quais foram sugeridas melhorias pelas trabalhadoras tais como:

- Redução da altura do plano de trabalhos (n=2/8);
- Alocação do posto de trabalho num sítio com menos ruído (n=3/8)
- Eliminação da tarefa de aplicação de cola (n=2/8).

Os resultados obtidos acerca da prevalência de desconforto/dor musculoesquelética mostram uma perfeita concordância ($p=1,000$, teste McNemar) entre a percepção das trabalhadoras sentidas nos últimos 12 meses e nos últimos 7 dias, nas regiões corporais consideradas pelo método NMQ. As regiões onde existem maiores queixas e onde incidem a maioria dos problemas musculoesqueléticos são a região lombar e os pulsos/mãos onde 100% das inquiridas manifestaram dor, seguida dos ombros (87,5%),

pés/tornozelos e ancas e coxas (62,5%). Estas regiões tem ligação direta com os fatores de risco associados à prática desadequada de posturas e repetitividade de ações associadas ao posto de pré-montagem.

Tendo as trabalhadoras ainda queixas nestas regiões corporais significava que se devem desenvolver/explorar melhorias no posto da pré-montagem por forma a corrigi-lo no melhoramento das condições de trabalho.

4.2.3. Secção de montagem

Aquando do estudo dos tempos para esta secção, este foi feito tendo em conta duas vertentes:

- Montagem Final (MF) com o auxílio de ripas pré-montadas;
- Montagem completa (MC) com a criação da estrutura completa.

Tal acontece devido ao facto do posto da pré-montagem não ter capacidade para abastecer eficazmente e em tempo real as necessidades do posto de montagem final quando este necessita de ripas, não só pela sua capacidade produtiva ser limitada mas também pelo facto da zona das ripas pré-montadas acabadas até ao posto da montagem final ser necessário o auxílio de empilhadoras para transporte do material que também não é imediato. Assim, quando é necessário produzir-se a *frame* A1 existem sempre tabuleiros verticais que contam com a ajuda de ripas pré-montadas enquanto que as outras são produzidas integralmente (através de MC).

Os *inputs* de ambas as montagens com base nas ripas e cupos usados encontram-se representados na Figura 24.

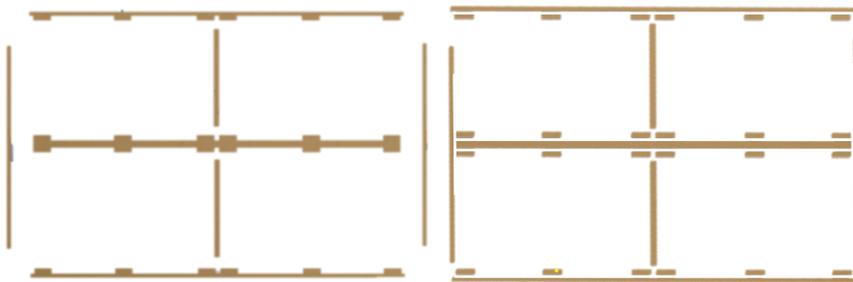


Figura 24 - Montagem Final vs Montagem Completa

4.2.3.1. Montagem completa

Durante a MC existe a inserção de todos os cubos necessários na hora da construção da *frame*. Embora seja uma modalidade de execução da tarefa que divide opiniões entre as trabalhadoras, para algumas delas esta atividade executada desta forma envolve um maior dinamismo e diminui a natureza repetitiva da mesma já que aumentando o número de elementos a realizar, aumenta o tempo de ciclo e

consecutivamente a monotonia entre ciclos diminui. Assim, o número de unidades pretendidas por hora também é consideravelmente diferente: 40 peças/hora/trabalhadora.

À semelhança dos estudos de tempo efetuados anteriormente, nestes novos estudos mantiveram-se o nível de confiança a, pelo menos, 90% e um erro de 0,05.

É importante referir que, por oposição ao estudo da pré-montagem onde apenas foram avaliadas duas trabalhadoras (Trabalhadora 1 e 2), para o estudo da montagem completa teve-se em consideração a operação de dois duos de trabalhadoras (Trabalhadora 3 e 4 - $A1_{T3,T4}$, Trabalhadora 5 e 6 - $A1_{T5,T6}$), tendo estas faixas etárias distintas (20-35, 35-50 respetivamente) e diferentes limitações físicas (as trabalhadoras 5 e 6 já apresentavam lesões resultantes do trabalho). O principal objetivo passava por, avaliando cada um destes duos independentemente, chegar-se ao ritmo a ser praticado neste posto de trabalho tangível por todas as trabalhadoras desta secção da empresa, definindo-se de forma equilibrada e consistente com as operadoras que o realizam e objetivos do planeamento.

Num total de quatro atividades, estudou-se os tempos das seguintes combinações:

- Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 3 ($A1_{T3}$);
- Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 4 ($A1_{T4}$);
- Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 5 ($A1_{T5}$);
- Produção da *frame* A1 pela Trabalhadora 6 ($A1_{T6}$).

Montagem Completa – Trabalhadoras 3 e 4

Para este estudo, passar-se-á a designar os inputs da *frame* da forma representada na Figura 25.

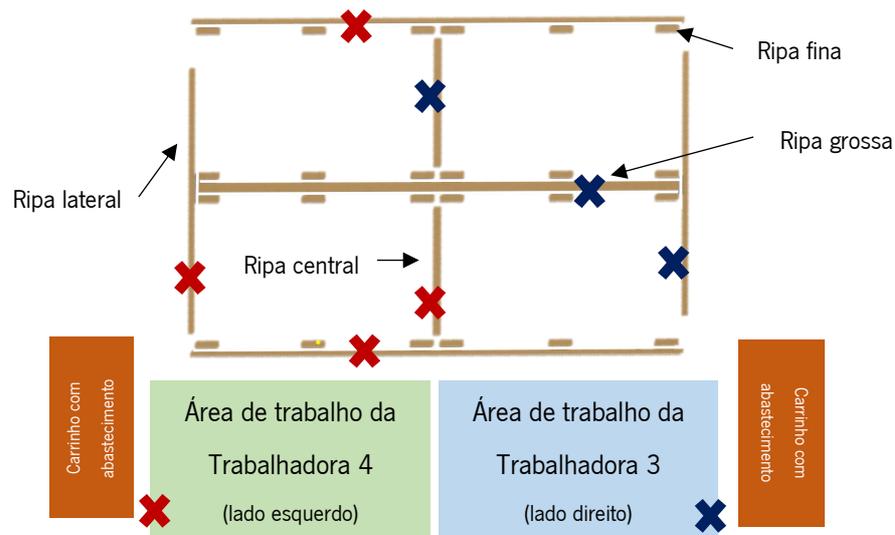


Figura 25 - Operação pelas Trabalhadoras 3 e 4 na frame A1_MC

Iniciou-se o estudo por decompor a atividade nos respetivos elementos mensuráveis, seguidamente representados na Tabela 18.

Tabela 18 - Decomposição em elementos das atividades da MC_ Trabalhadora 3 e 4

Frame A1		
	<i>Trabalhadora 3</i>	<i>Trabalhadora 4</i>
Elemento 1	Pegar na ripa lateral	Pegar na ripa fina
Elemento 2	Colocar a ripa lateral no tabuleiro	Colocar a ripa fina no tabuleiro (baixo)
Elemento 3	Pegar na ripa grossa	Pegar na ripa lateral
Elemento 4	Colocar a ripa grossa no tabuleiro	Colocar a ripa lateral no tabuleiro
Elemento 5	Pegar na ripa central	Pegar na ripa fina
Elemento 6	Colocar a ripa central no tabuleiro	Colocar a ripa fina no tabuleiro (cima)
Elemento 7	Selecionar os cubos	Pegar na ripa central
Elemento 8	Aplicar cola (total)	Colocar a ripa central no tabuleiro
Elemento 9	Fixar os cubos (total)	Selecionar os cubos
Elemento 10	Escrever anotação	Aplicar cola (total)
Elemento 11	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	Fixar os cubos (total)
Elemento 12		Colocar as <i>frames</i> prontas na palete

Seguidamente clarificam-se algumas características dos elementos de seleção de cubos, aplicação de cola e fixação dos cubos.

- Seleção de cubos: embora ambas as trabalhadoras selecionem os 12 trios de cubos de uma só vez, a forma como os depositam na ripa é diferente. Enquanto que a Trabalhadora 4 faz duas pilhas com os cubos dispostos horizontalmente com os 8+4 trios (esquerda/direita), a Trabalhadora 3 coloca 4 trios na vertical ao alcance direto do lado esquerdo e os restante 8 trios de forma horizontal na ala direita da *frame* – Figura 26.

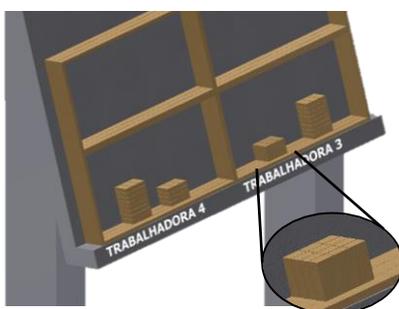


Figura 26 - Seleção e posicionamento dos cubos pelas trabalhadoras 3 e 4

- Aplicar cola/Fixar cubos: como se observa na Tabela 20, para ambas as trabalhadoras representam-se os elementos em questão como o total dos tempos individuais observados de modo a

mais tarde facilitar a comparação de valores praticados por elas já que cada uma possui o seu próprio modo operativo de aplicação de cola e respetiva colocação dos cubos (combinação de colagem) no devido lugar. Na Figura 27 encontra-se esquematizado o modo sequencial de operação da Trabalhadora 3 e o padrão de execução sequencial mais frequente da Trabalhadora 4. Cada sequência de fixação de cubo(s), numerados de 1 a 12, é precedida de aplicação de cola ordenada conforme legenda (cor “Série 1” à cor “Série 7”). A “Série” representa, assim, cada momento do trabalho em que a trabalhadora recorre à pistola da cola para aplicação da mesma. A título de exemplo, pode interpretar-se da Figura em análise que durante um ciclo de trabalho, a Trabalhadora 4 apenas recorre a 3 séries de aplicação de cola, sobre a qual fixa 4 trios de cubos de cada vez, ao invés da Trabalhadora 3 que alcança a pistola em 7 ocasiões (séries) sendo o número de cubos fixados variável em cada série.

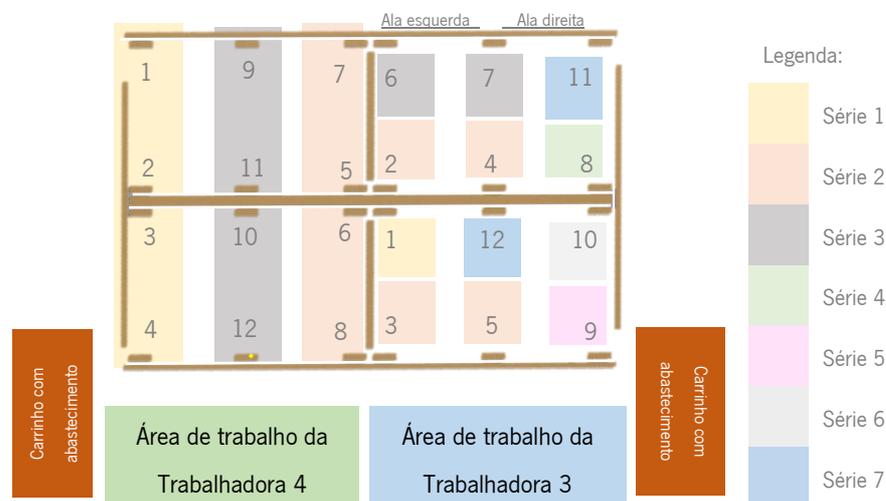


Figura 27 - Representação esquemática da combinação de colagem pela Trabalhadora 3 e 4

Após terem sido feitas as observações iniciais e completados os registos com o número de observações necessárias para cada elemento, procurou-se perceber qual a cadência normal para a montagem com base no ritmo praticado por estas operadoras e foi aplicada a avaliação objetiva no julgamento de atividade. Assim, com o auxílio dos responsáveis pelo posto e dos chefes de linha, foi possível estabelecer um ritmo de referência com base nas filmagens observadas. Os ajustamentos de dificuldade aplicados bem como as folhas de cálculo obtidas encontram-se presentes no Anexo 10 e Anexo 11, respetivamente.

Tendo já reunido todos os dados necessários, chegaram-se aos tempos normalizados dos elementos e de ciclo, os quais se apresentam seguidamente.

Tabela 19 – Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MC): A1₁₃₃₄

		TO médio (seg)	FA médio	Ajustamentos (%)	FA ajustado	TN (seg)	TN Ciclo (seg)
Trabalhadora 3	Elemento 1	1,13	103	7	110	1,25	102,06
	Elemento 2	1,49	102	14	117	1,74	
	Elemento 3	2,22	105	9	115	2,55	
	Elemento 4	4,13	99	16	115	4,76	
	Elemento 5	1,31	96	6	101	1,33	
	Elemento 6	1,65	103	13	116	1,91	
	Elemento 7	20,62	99	14	113	23,36	
	Elemento 8	20,26	100	8	108	21,95	
	Elemento 9	27,58	101	11	112	31,00	
	Elemento 10	1,42	103	4	107	1,51	
	Elemento 11	8,95	100	20	120	10,70	
Trabalhadora 4	Elemento 1	1,71	109	8	118	2,01	110,78
	Elemento 2	2,87	103	15	118	3,39	
	Elemento 3	1,97	103	7	110	2,16	
	Elemento 4	1,29	108	14	123	1,58	
	Elemento 5	1,91	108	8	117	2,23	
	Elemento 6	3,32	98	15	112	3,72	
	Elemento 7	2,47	101	6	107	2,64	
	Elemento 8	1,59	109	13	123	1,95	
	Elemento 9	27,23	100	14	114	30,95	
	Elemento 10	21,14	97	8	104	22,04	
	Elemento 11	27,10	99	12	111	30,16	
	Elemento 12	6,59	101	20	121	7,95	

Numa primeira análise à Tabela 19, face aos tempos médios obtidos por elemento e os fatores de atividade médios pode-se concluir que a tarefa está a ser executada acima ou bastante próxima do ritmo considerado normal (atividade de referência) para estas trabalhadoras já que o fator de atividade médio correspondente ronda os 100%. Este resultado demonstra que as trabalhadoras têm um ritmo de trabalho consistente ao longo dos ciclos de trabalho o que, para efeitos de produção, se traduz numa operação igualmente balanceada. No entanto, é uma atividade que durante a sua operação envolve diferentes condições de trabalho e exigências físicas pelo que, quando se aplicam os ajustamentos de dificuldade, o acréscimo percentual em termos de tempo praticado aumenta até 20% do valor inicialmente observado. Estes ajustamentos podem ser justificados pela operação acima do nível dos ombros, constante atenção no manuseamento das ripas e da *frame*, bem como manipulação de cargas até 9kg (no total), incorporando-se assim a questão da habilidade, concentração e fisiologia do trabalho.

Numa segunda análise, é possível observar que a fixação dos cubos, sendo a operação principal e mais exigente por comparação à montagem final onde tal não ocorre, é a que apresenta o maior tempo normalizado graças ao facto de requerer uma maior atenção por parte das operadoras, pois tem de depender de mais tempo para garantir que o cubo e a cola quente aderem devidamente nas ripas, sem

deslizar, mantendo a sua posição e estabilidade ao longo do tempo. Este é o principal elemento que, sendo mal praticado, está na origem de mais problemas na construção da *frame*, pois basta que pelo menos um cubo descole para a *frame* ter de ser retrabalhada na sua recolocação, parando o ritmo normal de produção do posto de trabalho.

Por fim, outro valor que sobressai é a diferença no tempo normalizado da atividade entre ambas as trabalhadoras. Como se verá a seguir de forma mais elucidativa, a principal razão da discrepância de cerca de 7 segundos reside no facto da Trabalhadora 4 demorar mais tempo a selecionar os cubos da caixa. Mesmo tendo à sua responsabilidade a colocação de mais um trio de ripas, este tempo vai sendo compensado com o facto da Trabalhadora 3 demorar mais na fixação dos cubos, depender de mais tempo na colocação de *frames* prontas na palete e na inscrição da anotação na *frame* para efeitos de qualidade. Ainda assim, ao longo de um ciclo de trabalho, esta diferença vai sendo alocada em tarefas de atualização da folha de registos, raspagem de cola no tabuleiro e/ou esperas.

Analisando a relação entre ambas as trabalhadoras, como se pode observar pelo gráfico presente na Figura 28, estas operam a um ritmo semelhante tendo apenas ligeiras diferenças de tempo na atividade de fixação dos cubos e acentuadas na seleção de cubos e colocação das *frames* prontas na palete.

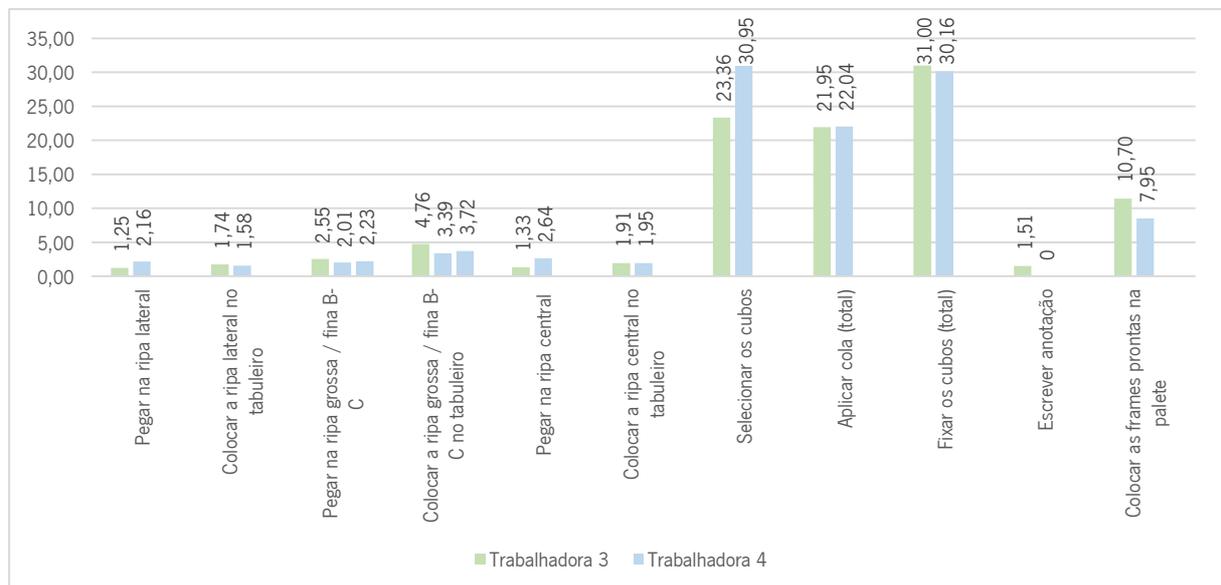


Figura 28 - Comparação de tempos normalizados (seg) _ MC: A1_{13,14}

Para o primeiro caso, importa ter em mente o modo de operação, anteriormente mencionado, das trabalhadoras e a forma como abordam a combinação de colagem nos 12 sítios requeridos para a *frame* – Figura 27. Mesmo tendo uma abordagem diferente à aplicação de cola e respetiva fixação de cubos, o resultado final indica que o balanço de tempo requerido na combinação da colagem é semelhante (T3: 52,95 seg, T4:52,20 seg), tendo a Trabalhadora 3 obtido um valor maior pois em cerca

de 57% das manipulações que executa nos trios de cubos tem apenas manipulado um trio de cada vez. Embora não seja uma diferença significativa, o presente estudo não tem alcance suficiente para garantir uma correlação entre o *one piece flow* (manipulação das operações em questão de forma consecutiva para a mesma unidade - trio – de produtos – cubos – de cada vez) e a sua influência na eficiência do sistema.

Já no segundo caso, as diferenças observadas aplicam-se aos elementos:

- 'Seleção de cubos': por uma questão de agilidade, a Trabalhadora 3 consegue alcançar um ritmo de trabalho superior à Trabalhadora 4 efetuando a seleção de cubos e respetiva deposição em cima das ripas finas (baixo) de forma mais rápida.

- 'Colocação das *frames* prontas na palete': a diferença observada é motivada pela permanência da Trabalhadora 3 a ajeitar as *frames* na palete de produto acabado, encaixando-as com mais detalhe e verificando se nenhum cubo se desprende, enquanto a Trabalhadora 4 apenas ajuda a pousar na palete e recomeça um novo ciclo de trabalho.

No respeitante ao alcance e colocação das diversas ripas no tabuleiro:

- É a ripa grossa que exige mais tempo para ser pegada e colocada dado ser esta a maior e mais pesada dos 4 tipos de trios de ripas;

- Tanto nas ripas grossas como nas ripas finas observa-se que o tempo necessário para as colocar é superior aos outros dois tipos de ripas pois estas necessitam de ser rodadas 90° e/ou levantadas para acima dos ombros de forma a não baterem na outra trabalhadora;

- A segunda manipulação do trio de ripas finas é ligeiramente mais demorada pois tem de ser ajustada a pega para as virar e elevar até à parte de cima da *frame*;

- A Trabalhadora 4 demora mais a pegar nas ripas centrais e laterais pois tem de efetuar uma deslocação/rotação maior comparativamente à Trabalhadora 3 cuja disposição do carrinho de abastecimento está a seu favor pois tem as ripas de menor dimensão mais próximas do tabuleiro vertical – Figura 29.



Figura 29 - Representação da área de trabalho da MC e disposição do carrinho de abastecimento

No caso concreto dos tempos montagem completa para estas trabalhadoras, observou-se as atividades que apresentam maior influência no tempo de ciclo e a conclusão obtida foi a mesma que no caso da pré montagem. Mais uma vez eram os elementos de ‘fixação do trio de cubos’, seguido da ‘seleção de cubos da caixa’ e ‘aplicação de cola para os cubos’ que tinham mais peso na atividade global. A análise de Pareto permitiu distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Classe A: (Fixar os Cubos (total), 6,7% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 25% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe B: (Selecionar os cubos e aplicar cola para os cubos (total), 13,3% dos elementos assumem ‘a responsabilidade sobre cerca de 43% do tempo normalizado de ciclo)
- Classe C: (Restantes elementos) 80% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 23% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 30;

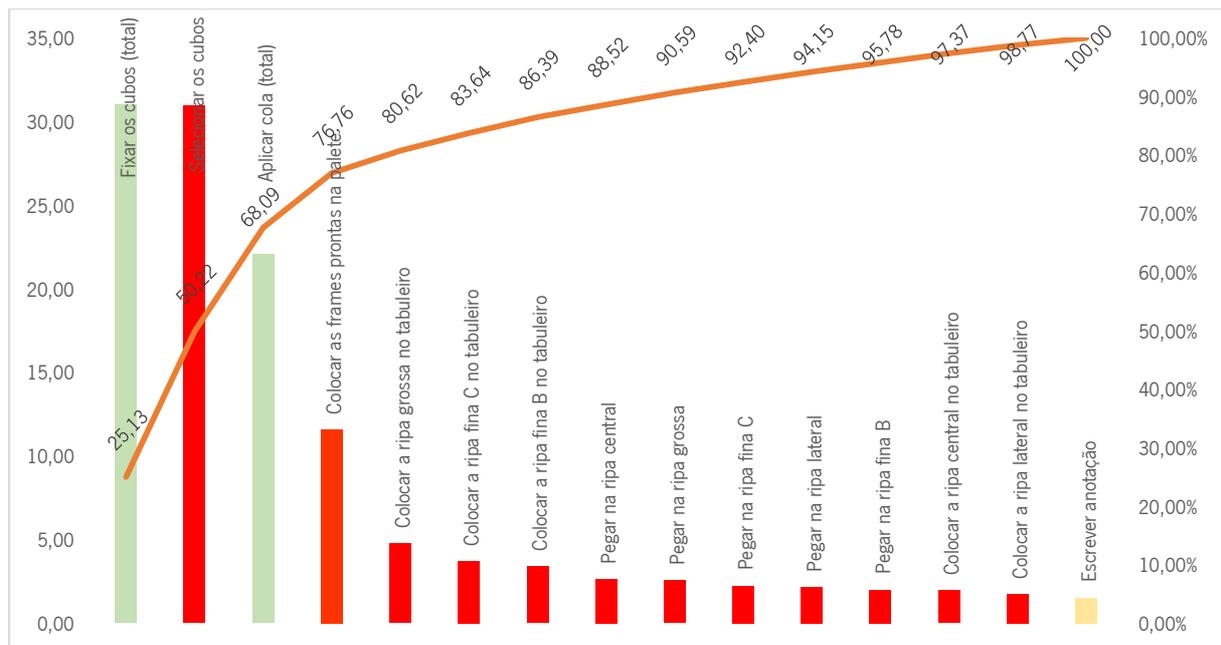


Figura 30 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MC: A1_{13,74}

Neste estudo e com base nos tempos normalizados obtidos, chegou-se à conclusão que os elementos que acrescentam valor ao produto apenas representam cerca de 43% sendo os outros distribuídos entre 56% de tempo que não agrega valor e 1% de tempo que não agrega valor mas é necessário para efeitos de controlo de qualidade – Figura 31.

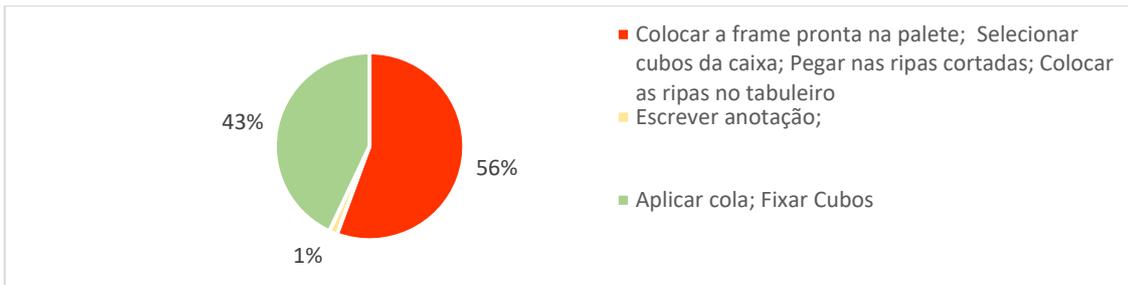


Figura 31 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MC, T3 e T4

Montagem Completa – Trabalhadoras 5 e 6

O presente estudo será feito tendo em vista o modo de operação de trabalhadoras de uma faixa etária maior com mais limitações físicas. A abordagem ao estudo é em tudo similar ao que foi efetuado anteriormente.

Na Figura 32 representa-se a intervenção de cada trabalhadora na montagem completa da *frame*, estando esta identificada através de uma cruz de cada cor.

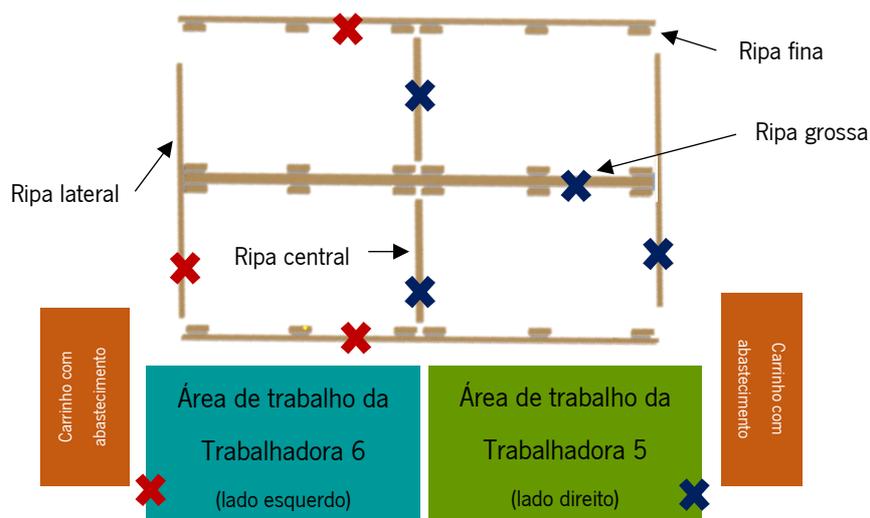


Figura 32 - Operação pelas Trabalhadoras 5 e 6 na frame A1_MC

Após a análise dos diversos ciclos de trabalho, observaram-se os seguintes elementos de atividade para as Trabalhadoras 5 e 6, seguidamente representados na Tabela 21.

Tabela 20 - Decomposição em elementos das atividades da MC_ Trabalhadora 5 e 6

Frame A1		
	<i>Trabalhadora 5</i>	<i>Trabalhadora 6</i>
Elemento 1	Pegar na ripa lateral	Pegar na ripa fina
Elemento 2	Pegar na ripa central	Colocar a ripa fina no tabuleiro (baixo)
Elemento 3	Colocar a ripa lateral no tabuleiro	Pegar na ripa lateral
Elemento 4	Colocar a ripa central no tabuleiro (baixo)	Colocar a ripa lateral no tabuleiro
Elemento 5	Pegar na ripa grossa	Pegar na ripa fina
Elemento 6	Colocar a ripa grossa no tabuleiro	Colocar a ripa fina no tabuleiro (cima)
Elemento 7	Pegar na ripa central	Selecionar os cubos (total)
Elemento 8	Colocar a ripa central no tabuleiro (cima)	Aplicar cola (total)
Elemento 9	Selecionar os cubos (total)	Fixar os cubos (total)
Elemento 10	Aplicar cola (total)	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete
Elemento 11	Fixar os cubos (total)	
Elemento 12	Escrever anotação	
Elemento 13	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	

À semelhança do que ocorre na montagem completa pelas trabalhadoras 3 e 4, estas trabalhadoras têm diferentes métodos de seleção de cubos e colagem.

A primeira diferença reside no facto de, durante o processo, estas procederem a 3 seleções de cubos, cada uma atribuída a 4 trios. Mesmo processando 3 séries de seleção de cubos, a disposição dos cubos nas ripas finas são diferentes. Como se pode observar pela Figura 33, a Trabalhadora 5, numa primeira série divide os trios de cubos entre 3 localizações sob duas orientações diferentes tanto na parte superior como inferior da *frame* e, numa segunda e terceira séries, apenas os posiciona em 2 localizações distintas mantendo sempre um trio na posição horizontal. Em todas as séries, é sempre o trio de cubos disposto horizontalmente que é o primeiro a ser pegado. Por outro lado, a Trabalhadora 6 mantém sempre 4 trios de cubos empilhados na orientação horizontal na parte inferior na *frame* ajustando o seu posicionamento com base na ala vertical que irá preencher no momento.

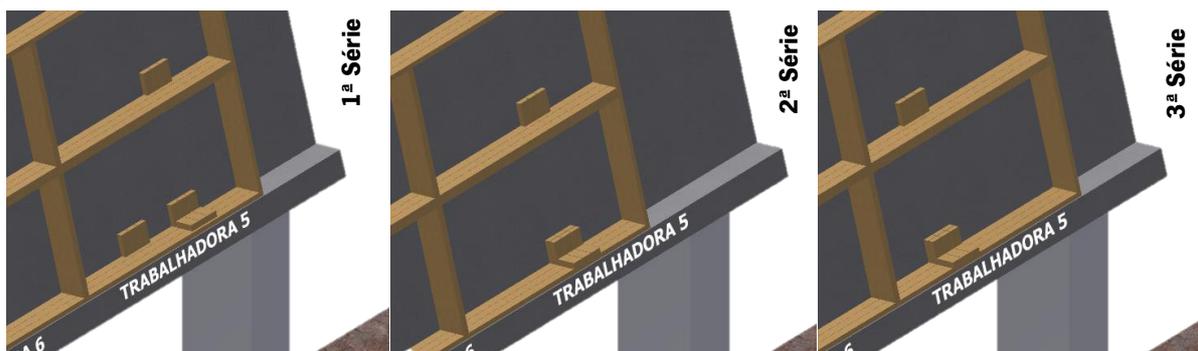


Figura 33 - Seleção e posicionamento dos cubos pela Trabalhadora 5

Importa esclarecer também o modo de operação das trabalhadoras e a forma como abordam as operações de aplicar cola e fixar cubos (combinação de colagem) nos 12 sítios requeridos para a *frame* com base na seleção dos cubos. Na Figura 34 encontram-se representados os padrões mais frequentes ao longo dos ciclos observados. Lembra-se que a “Série” representa cada momento do trabalho em que a trabalhadora recorre à pistola da cola para aplicação da mesma. Neste caso, a Trabalhadora 5 apenas recorre a 3 séries de aplicação de cola sendo que em cada série coloca 4 trios de cubos, ao invés da Trabalhadora 6 que alcança a pistola em 5 ocasiões (séries) sendo o número de cubos fixados variável em cada série.

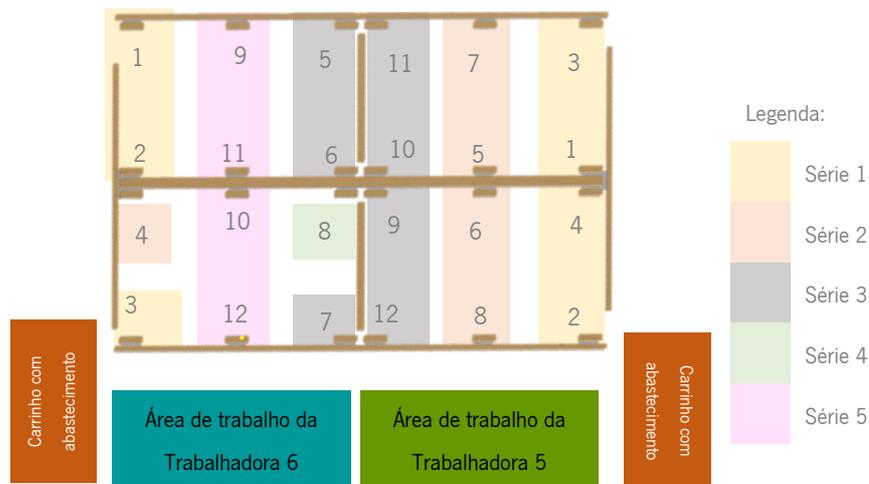


Figura 34 - Representação esquemática da combinação de colagem pela Trabalhadora 5 e 6

Após terem sido feitas as observações iniciais e completados os registos para o número de observações necessárias para cada elemento, procurou-se perceber qual a cadência normal para a montagem com base no ritmo praticado por estas operadoras e foi aplicada a avaliação objetiva como forma do julgamento de atividade. Assim, com o auxílio dos responsáveis pelo posto e dos chefes de linha, foi possível estabelecer um ritmo com base nas filmagens observadas que devia ser considerado como referência. Os ajustamentos de dificuldade aplicados bem como as folhas de cálculo obtidas encontram-se presentes no Anexo 10 e Anexo 11, respetivamente.

Tendo já reunido todos os dados necessários, chegaram-se aos tempos normalizados dos elementos e de ciclo, os quais se apresentam seguidamente na Tabela 21.

Tabela 21 – Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MC): A1_{13,16}

		<i>TO</i> <i>médio</i> <i>(seg)</i>	<i>FA médio</i>	<i>Ajustamentos</i> <i>(%)</i>	<i>FA</i> <i>ajustado</i>	<i>TN</i> <i>(seg)</i>	<i>TN</i> <i>Ciclo</i> <i>(seg)</i>
Trabalhadora 5	Elemento 1	1,61	96	7	103	1,65	122,40
	Elemento 2	1,70	98	6	103	1,76	
	Elemento 3	2,54	98	14	111	2,82	
	Elemento 4	2,47	87	13	98	2,42	
	Elemento 5	2,52	100	9	109	2,74	
	Elemento 6	4,22	95	16	111	4,68	
	Elemento 7	1,92	105	6	112	2,14	
	Elemento 8	3,03	99	13	112	3,39	
	Elemento 9	31,34	102	14	116	36,47	
	Elemento 10	22,59	97	8	105	23,69	
	Elemento 11	28,57	99	11	110	31,45	
	Elemento 12	1,47	99	4	103	1,51	
	Elemento 13	6,80	94	20	113	7,67	
Trabalhadora 6	Elemento 1	1,71	98	8	106	1,82	122,93
	Elemento 2	3,26	107	15	123	4,02	
	Elemento 3	2,68	98	7	105	2,81	
	Elemento 4	1,78	101	14	115	2,04	
	Elemento 5	2,73	101	8	109	2,99	
	Elemento 6	3,53	100	15	115	4,05	
	Elemento 7	28,12	100	14	114	32,19	
	Elemento 8	20,55	101	8	109	22,47	
	Elemento 9	36,64	100	11	111	40,50	
	Elemento 10	8,41	100	20	120	10,05	

Numa primeira análise à Tabela 21, face aos tempos médios obtidos por elemento e os fatores de atividade médios pode-se concluir que na grande maioria dos elementos, a tarefa está a ser executada bastante próxima do ritmo normal definido já que o fator de atividade médio correspondente ronda os 100%. No entanto observa-se que a Trabalhadora 5 tem um momento em que opera abaixo dos 90% - colocação da ripa central em baixo. Tal acontece pois esta coloca o trio de ripas em duas fases, separando a colocação em duas ripas e de seguida coloca a outra, aplicando esta abordagem a todas as ripas centrais e laterais. Para além disto, estas são colocadas ainda antes de serem colocar as ripas grossas, o que torna o seu posicionamento menos estável e mais suscetível de cair e ter de ser reposicionado.

Ainda que seja uma atividade que durante a sua operação envolva diferentes condições de trabalho e exigências físicas, quando se aplicam os ajustamentos de dificuldade, o acréscimo percentual em termos de tempo praticado aumenta até 30% do valor inicialmente observado, à semelhança do que acontecia com as Trabalhadoras 3 e 4, estando o fator de atividade ajustado compreendido entre os valores de 98 e 123.

Numa segunda análise, é possível observar que a fixação dos cubos é a principal operação da

Trabalhadora 6 enquanto que a Trabalhadora 5 despande mais tempo a ‘selecionar os cubos da caixa’. Esta discrepância acaba por refletir a diferença observada nos tempos normalizados finais que, embora não seja demasiado expressiva, permite concluir que a Trabalhadora 6, mesmo com menos tarefas a executar, opera de forma mais lenta do que a Trabalhadora 5. Para além da diferença de idades entre as trabalhadoras, uma causa possível para a baixa eficiência desta trabalhadora poderá estar relacionada com uma rutura muscular que esta tem ao nível do ombro que a torna menos operacional e mais suscetível a variações do tempo observado ao longo dos ciclos.

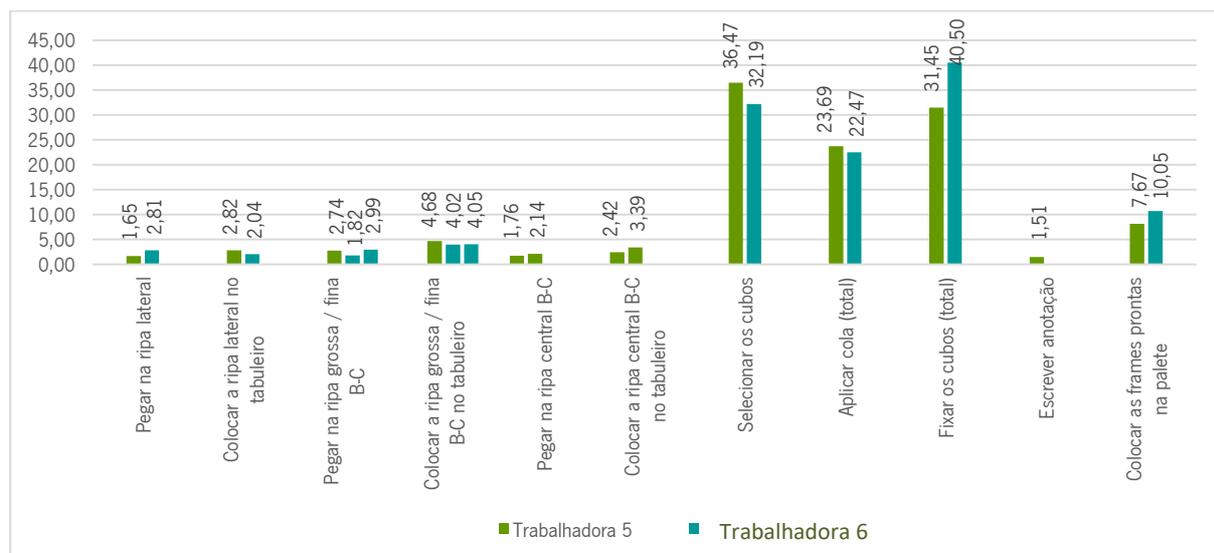


Figura 35 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MC: A1_{15,16}

Analisando a relação entre ambas as trabalhadoras, como se pode observar na Figura 35, estas operam maioritariamente a um ritmo desigual, sendo as principais diferenças de tempo na atividade de ‘seleção de cubos’ ‘fixação dos cubos’ e ‘colocação das frames prontas na palete’.

No respeitante ao elemento de ‘pegar na ripa lateral’, verifica-se que a Trabalhadora 5 o faz mais depressa comparativamente à Trabalhadora 6 embora a coloque de forma mais lenta. A causa é atribuída ao facto de, como já mencionado, ela dividir a colocação dos trios de ripas (em 2+1), da mesma forma que acontece com as ripas centrais.

Seguidamente, verifica-se que as manipulações de ripas mais compridas (finas) embora menos pesadas comparando ao esforço equivalente da Trabalhadora 5 (ripas grossas), exigem da Trabalhadora 6 um esforço similar em termos de tempo, traduzindo-se num dispêndio de tempo bastante próximo entre ambas (cerca de 4 segundos).

Tendo em conta o método de seleção de cubos e combinação de colagem observa-se que a Trabalhadora 6 o executa de forma mais lenta pois, ao longo dos ciclos, os movimentos que fazia de rotação do pulso, a própria pega dos trios de cubos e a aplicação da força para os fixar era mais lenta e

mais zelada já que tendencialmente, em movimentos mais rápidos, os cubos tenderiam a descolar mais rapidamente.

Por fim, o tempo discrepante observado no elemento de colocação das *frames* prontas na palete é causado pelo facto da Trabalhadora 6 depender de uma certa parte deste tempo a corrigir as frames (descolar as frames entre elas e/ou reparar algum cubo mais solto) ainda antes de as mover para a palete do produto final pois é no lado dela que existe uma maior tendência a haver dispersão da cola para locais que não são devidos e, como tal, a aderir as *frames* entre elas.

No caso concreto dos tempos montagem completa efetuada por estas trabalhadoras, mais uma vez eram os elementos de ‘fixação do trio de cubos’, seguido da ‘seleção de cubos da caixa’ e ‘aplicação de cola para os cubos’ que tinham mais peso na atividade global. A análise de Pareto permitiu distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Classe A (Fixar os Cubos (total), 5,8% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 28% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe B (Selecionar os cubos e aplicar cola para os cubos (total), 11,8% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 41% do tempo normalizado de ciclo)
- Classe C (restantes elementos, 82,4% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 31% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 36.

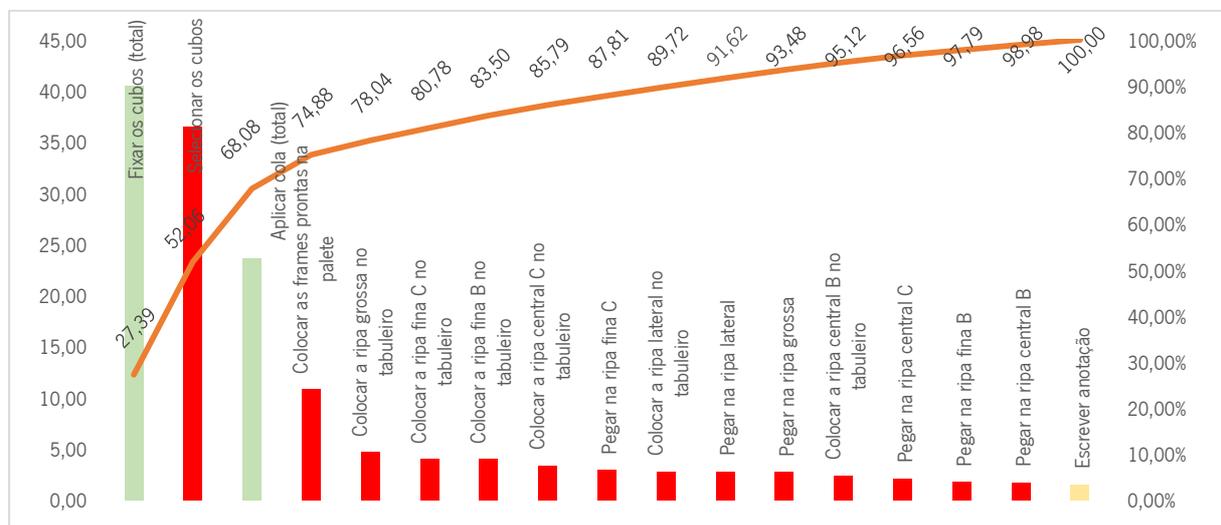


Figura 36 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MC: A1_15,16

No caso concreto do estudo e com base nos tempos normalizados obtidos, chegou-se à mesma conclusão que anteriormente, onde os elementos que acrescentam valor ao produto apenas representam cerca de 43% sendo os outros distribuídos entre 56% de tempo que não agrega valor e 1% de tempo que não agrega valor mas é necessário – Figura 37.

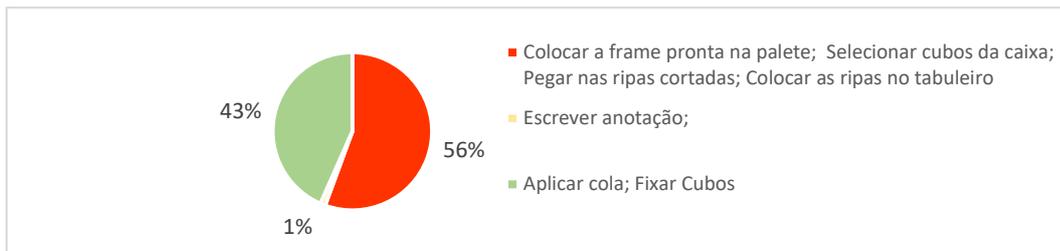


Figura 37 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MC, T5 e T6

Tempo Normalizado para a Montagem Completa

Tendo por base a premissa de que se deveria definir qual o ritmo de trabalho que melhor refletisse a cadência correta de execução de cada um dos elementos para todos os membros da empresa, colocaram-se três hipóteses:

1. A cadência das trabalhadoras mais ágeis;
2. A cadência das trabalhadoras menos ágeis já que se lhes fosse imposto um ritmo mais acelerado elas não o iriam conseguir cumprir portanto eram elas que limitavam este tempo previsto ou;
3. Um meio-termo entre ambas (as primeiras trabalhadoras, embora com capacidade para mais, podem acabar por executar a tarefa de forma mais lenta mas as segundas trabalhadoras teriam de acelerar o que faziam agora).

De acordo com a empresa, o número de peças por ciclo (NPC) é definido como sendo a capacidade máxima que as trabalhadoras conseguem produzir no espaço de uma hora, sem que lhes comprometa o bem-estar. Ao longo dos anos os responsáveis por esta secção verificaram que sempre que faziam uma correção de NPC, aumentando-o, muitas das trabalhadoras rapidamente conseguiam chegar ao novo valor em estudo o que em termos de *output* era positivo mas ao nível ergonómico e da saúde ocupacional, cada vez mais acarretava agravantes das condições de saúde por elas apresentadas. Assim, a abordagem deles passou a ser a definição do NPC baseado na máxima capacidade que a maior parte das trabalhadoras conseguiam atingir ao invés de o estabelecerem baseado na máxima capacidade individual de uma pessoa. Desta forma, conseguiriam privilegiar a diminuição do fator *stress* causado pela variação do NPC.

Como dito anteriormente, o NPC esperado para este posto de trabalho nestas condições é de 40 *frames* por hora. Tratando-se de uma produção em duplo, o NPC para as trabalhadoras corresponde a 80 *frames* por hora.

Considerando estes valores definidos pela empresa, este estudo permite concluir que cada trabalhadora, na sua condição física e operacional avaliada, cumpre com o *takt time* de referência (TT) imposto pelo NPC pretendido, conseguindo executar mais do que 1 *frame* a cada 90 segundos

(3600/40), o que corresponde a uma taxa de produção superior à de 0,667 *frames*/min (taxa de produção de referência - TP_r). Desta forma respeitou-se a cadência individual executada como sendo o ritmo imposto para cada uma das trabalhadoras.

Na Tabela 22 encontra-se demonstrada a capacidade atual praticada pelas trabalhadoras nas unidades de tempo por n *frames* e quantidade de *frame* por unidade de tempo – taxa de produção.

Tabela 22 - Capacidade de produção atual MC para um NPC de 40 frames/hora

	Tempo de produção (seg)		Taxa de produção por minuto
	de 1,5 <i>frames</i>	de 1 <i>frame</i>	
Trabalhadora 3	102,06	68,04	0,881
Trabalhadora 4	110,78	73,85	0,812
Trabalhadora 5	122,40	81,60	0,735
Trabalhadora 6	122,93	81,95	0,732
Objetivo		TT _r = 90 seg	TP _r = 0,667 <i>Frames</i>

Após se terem alcançado os tempos normalizados para cada grupo de operadora, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos – Figura 38. Os tempos normalizados apresentados correspondem ao maior dos tempos normalizados verificados em cada duos.

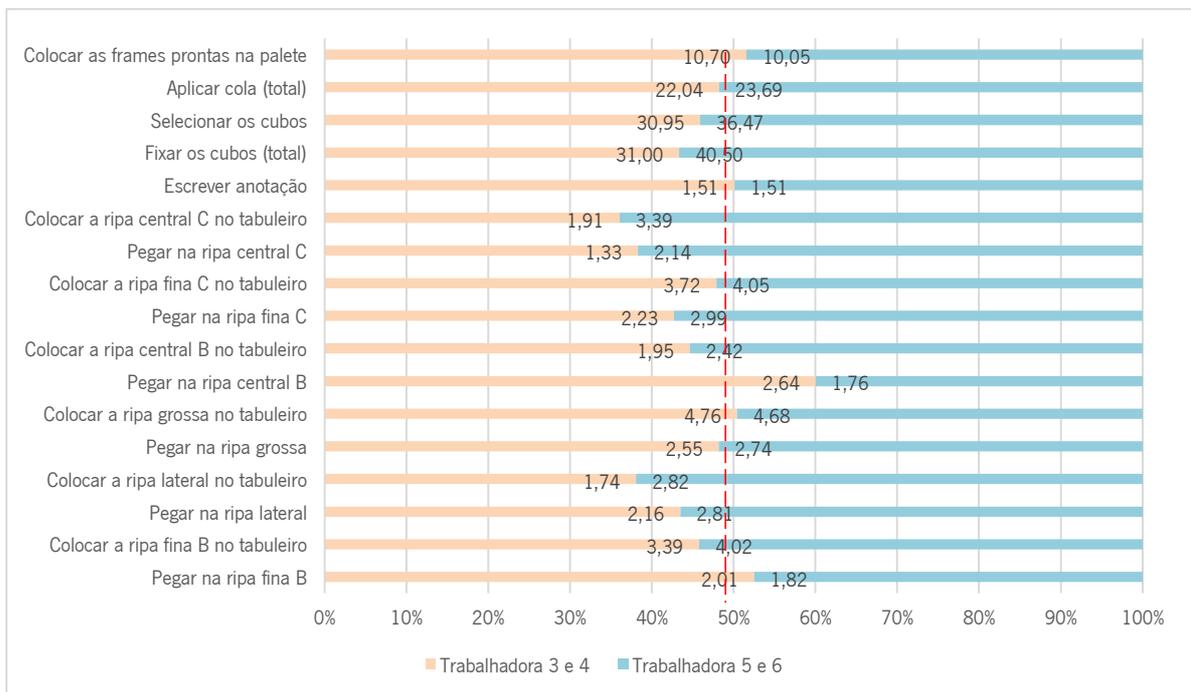


Figura 38 - Comparação dos tempos normalizados da MC entre as trabalhadoras

Globalmente, as Trabalhadoras 3 e 4, no respeitante às tarefas que assumem maior importância no tempo de ciclo (fixação dos cubos, seleção dos cubos e aplicação de cola) operam de forma mais rápida. Este duos de trabalhadoras executa as atividades em menos de 50% do tempo total comparativamente com o outro duos de trabalhadoras para o mesmo elemento da atividade. No entanto

observa-se que demoram mais tempo na pega da ripa central para ser colocada em baixo. Salienta-se que para esta análise entre os tempos normalizados, estão a ser considerados, grupo a grupo, a cadência de atividade normalmente praticada por estas e a sua consistência bem como considerados os tempos que limitam a execução dos elementos (maior dos tempos praticados), por duo de trabalhadoras.

No tocante ao processo de pegar e colocar a ripa central em cima, verifica-se que as Trabalhadoras 5 e 6 demoram mais por dois motivos:

- Pegar na ripa central (cima): como aqui já está inerente o alcance destas ripas isoladamente, a sua destreza bem como o tempo necessário para a sua obtenção é maior;

- Colocar a ripa central (cima): resulta do facto da Trabalhadora 5, em vez de pousar o trio de ripas de uma só vez, pousa-as em duas vezes – duas ripas e de seguida mais uma.

É importante referir que embora a colocação das *frames* prontas na palete apresente resultados bastante semelhantes entre as trabalhadoras, existem diferenças relativas à predominância de certas práticas efetuadas durante deste tempo, isto é, quanto ao tempo despendido a ajustar as *frames* em cima das já existentes na palete e/ou limpeza de alguma cola extra antes do respetivo transporte das *frames*.

4.2.3.2. Montagem Final

Durante a MF, por oposição ao que acontece na operação anteriormente analisada, a montagem é feita de forma mais direta, não havendo processos de seleção de cubos já que as ripas dispostas horizontalmente (ripa simples e ripa dupla) vêm todas pré-montadas. Na operação são considerados 10 pontos de cola, atribuídos igualmente às duas trabalhadoras que operam em simultâneo. À semelhança dos estudos de tempo efetuados anteriormente, nestes novos estudos mantiveram-se o nível de confiança a, pelo menos, 90% e um erro de 0,05 e analisou-se a operação de dois duos de trabalhadoras – Trabalhadora 7 e 8 e Trabalhadora 9 e 10 - de faixas etárias idênticas e com uma cadência de trabalho semelhante. Na Figura 39 representa-se a influência de cada trabalhadora na montagem final da *frame*.

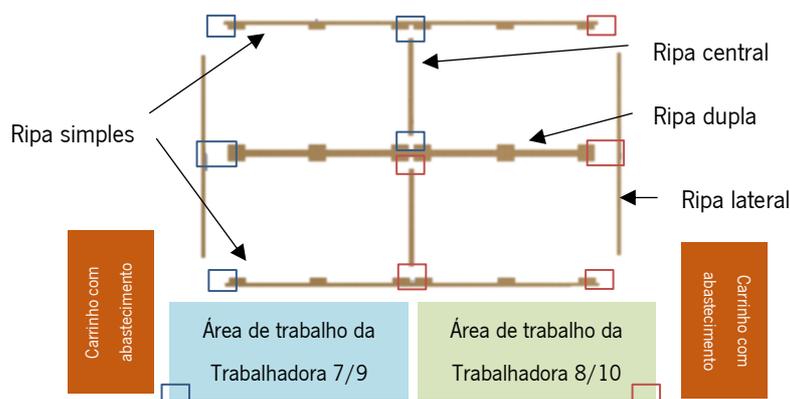


Figura 39 - Operação pelas Trabalhadoras 7, 8, 9 e 10 e 6 na *frame* A1_MF

O número de unidades pretendidas por hora também foi definido sobre a premissa da quantidade máxima de produção conseguida pela maioria das trabalhadoras e representa um total de 70 peças/hora/trabalhadora.

Da mesma forma que na montagem completa, num ciclo de trabalho são produzidas 3 *frames* A1. Os elementos de operação praticados por ambos os duos são semelhantes e apresentam-se na Tabela 23. Como se observa, o elemento ‘Aplicar cola’ apresenta-se como um total dado que cada uma das trabalhadoras pratica 4 vezes este elemento durante um ciclo de produção de *frame*.

Tabela 23 - Decomposição em elementos das atividades da MF_ Trabalhadora 7,8,9 e 10

Frame A1				
<i>Trabalhadoras 7 - 9</i>			<i>Trabalhadora 8 - 10</i>	
Elemento 1	Pegar na ripa simples		Pegar na ripa central	
Elemento 2	Colocar a ripa simples no tabuleiro		Fixar a ripa central	
Elemento 3	Pegar na ripa lateral		Pegar na ripa dupla	
Elemento 4	Fixar a ripa lateral		Fixar a ripa dupla	
Elemento 5	Ajudar a fixar a ripa dupla	Pegar na ripa lateral	Pegar a ripa lateral	
Elemento 6	Pegar na ripa central	Ajudar a fixar a ripa dupla	Fixar a ripa lateral	
Elemento 7	Fixar a ripa central		Escrever anotação	Ajudar a fixar a ripa simples
Elemento 8	Pegar na ripa simples		Ajudar a fixar a ripa simples	Aplicar cola (total)
Elemento 9	Fixar a ripa simples		Aplicar cola (total)	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete
Elemento 10	Aplicar cola (total)		Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	
Elemento 11	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	Escrever anotação		
Elemento 12		Colocar as <i>frames</i> prontas na palete		

Montagem Completa – Trabalhadoras 7 e 8

Nos Anexos 12 e 13 podem ser consultados os ajustamentos de dificuldade bem como a folha de cálculo da montagem final.

Na Tabela 24 apresentam-se os resultados obtidos no estudo de tempos para um número de observações iniciais de para a montagem final.

Tabela 24 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MF): A1_{77,78}

		TO médio (seg)	FA médio	Ajustamentos (%)	FA ajustado	TN (seg)	TN Ciclo (seg)
Trabalhadora 7	Elemento 1	1,82	98	13	110	2,01	63,94
	Elemento 2	2,99	110	14	125	3,75	
	Elemento 3	2,91	102	9	112	3,25	
	Elemento 4	5,54	100	12	112	6,20	
	Elemento 5	3,91	107	9	116	4,54	
	Elemento 6	3,08	100	8	108	3,32	
	Elemento 7	3,38	100	11	111	3,76	
	Elemento 8	4,12	104	13	117	4,83	
	Elemento 9	7,43	97	10	107	7,93	
	Elemento 10	15,70	100	8	108	17,02	
	Elemento 11	6,00	102	20	122	7,34	
Trabalhadora 8	Elemento 1	1,88	98	6	104	1,96	50,74
	Elemento 2	2,24	106	13	120	2,69	
	Elemento 3	2,96	101	15	116	3,43	
	Elemento 4	4,19	98	20	118	4,93	
	Elemento 5	2,06	102	7	109	2,26	
	Elemento 6	5,05	102	12	114	5,77	
	Elemento 7	1,20	107	2	109	1,31	
	Elemento 8	7,06	103	10	113	8,01	
	Elemento 9	10,35	106	8	114	11,83	
	Elemento 10	6,85	104	20	125	8,57	

Face aos parâmetros acima observados pode-se concluir que a tarefa está a ser executada acima ou bastante próxima do ritmo considerado normal (atividade de referência), tendo estas trabalhadoras um ritmo de trabalho consistente ao longo dos ciclos de trabalho. No entanto, sendo uma atividade que envolve diferentes condições de trabalho e exigências físicas, é feito um acréscimo percentual em termos de tempo praticado que aumenta até 20% do valor inicialmente observado. Este ajustamento é duplamente observado na Trabalhadora 8 aquando da pega nas ripas duplas e na transferência das ripas, dado serem as tarefas com uma exigência de esforço maior (cargas manipuladas de 3,5-4,5kg).

Numa segunda análise, é possível observar que a aplicação de cola, sendo a operação que traduz mais valor ao processo, é a que apresenta o maior tempo normalizado graças ao facto de neste tipo de montagem, ser este o ponto de partida para a fixação das ripas ao invés do que acontecia na MC onde a cola era aplicada para a fixação dos cubos, estando já as ripas nos lugares devidos. Neste processo, a aplicação de cola é o principal elemento que, sendo mal praticado, está na origem de mais problemas na construção da *frame*, pois basta que pelo menos uma ripa descole para a *frame* ter de ser retrabalhada na sua recolocação, parando o ritmo normal de produção do posto de trabalho.

Quando comparadas em duo, observa-se que globalmente a Trabalhadora 8 é mais rápida a executar cada uma das suas tarefas – Figura 40. A diferença de 13 segundos no tempo normalizado da

atividade entre ambas as trabalhadoras reside no facto da Trabalhadora 7 ter mais duas tarefas que a Trabalhadora 8 – ‘Escrever anotação’ e ‘Pegar na ripa simples’ para colocar em cima. Ao longo de um ciclo de trabalho, esta diferença vai sendo alocada em tarefas de atualização da folha de registos, raspagem de cola no tabuleiro e/ou esperas. Por fim, aquando das pegas e fixação das ripas observa-se que a deposição conjunta das ripas simples em cima da estrutura é que envolve mais tempo, seguida da fixação individual da ripa lateral e da fixação conjunta da ripa dupla.

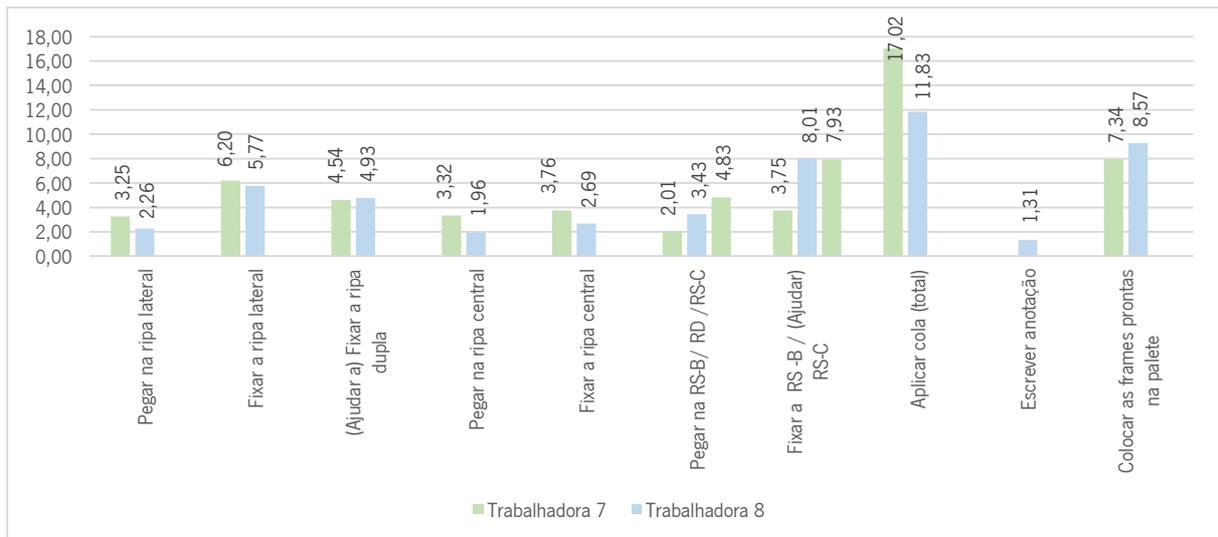


Figura 40 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MF: A1_{17,18}

Na montagem final executada por estas trabalhadoras foram observadas a influência das tarefas no tempo normalizado de ciclo total. As atividades que apresentam maior peso no tempo de ciclo são a aplicação de cola (total), seguido da colocação das *frames* prontas na palete e fixação (ajuda) das ripas simples em cima. A análise de Pareto permitiu distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Classe A: (Aplicar cola (total), 7,7% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 24% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe B: (Colocar as *frames* prontas na palete, (Ajudar a) Fixar as ripas simples em cima e fixar a ripa lateral, 23,1% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 32,4% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe C: (Restantes elementos) 69,2% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 43,5% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 41.

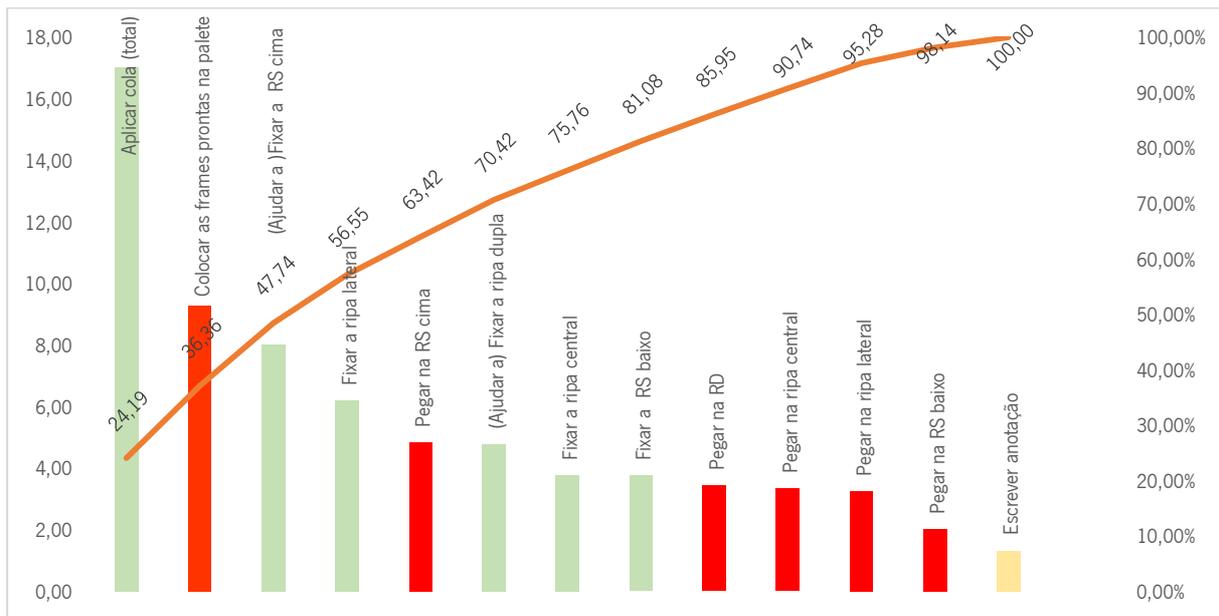
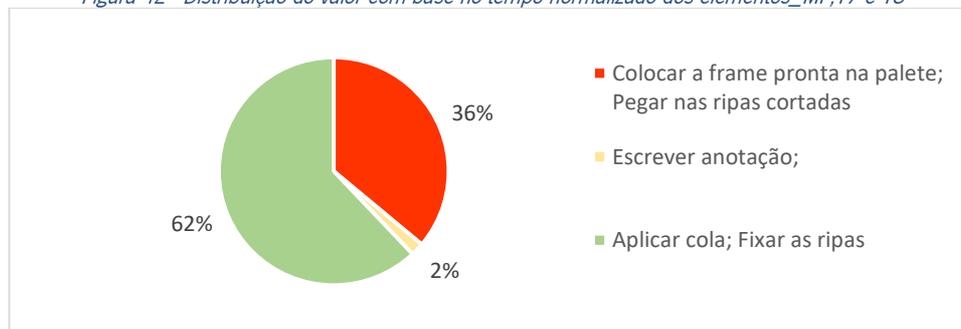


Figura 41 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MF: A1.17.18

Quanto ao valor, também se observam diferentes. Enquanto que na situação da MC a colocação das ripas na mesa de trabalho não acrescentava valor pois apenas serviam de base para a construção da estrutura onde se iriam fixar os cubos, aqui a fixação das ripas é que constitui o valor do processo. Tal diferença faz com que o valor das tarefas reflita 62% do tempo de ciclo, distribuindo-se as tarefas de valor não agregado e/ou necessárias para o processo em 2% e 36%, respetivamente – Figura 42.

Figura 42 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MF, T7 e T8



Montagem Completa – Trabalhadoras 9 e 10

Nos Anexos 12 e 13 podem ser consultados os ajustamentos de dificuldade bem como a folha de cálculo da montagem final.

Na Tabela 25 apresentam-se os resultados obtidos no estudo de tempos para um número de observações iniciais de para a montagem final.

Tabela 25 - Tempos normalizados dos elementos e de ciclo (MF): A1₇₅₇₁₀

		TO médio (seg)	FA médio	Ajustamentos (%)	FA ajustado	TN (seg)	TN Ciclo (seg)
Trabalhadora 9	Elemento 1	1,37	100	13	112	1,54	51,86
	Elemento 2	2,40	105	14	120	2,88	
	Elemento 3	2,08	99	9	108	2,23	
	Elemento 4	3,96	100	12	113	4,46	
	Elemento 5	2,58	101	8	109	2,82	
	Elemento 6	4,82	109	9	119	5,74	
	Elemento 7	3,75	99	11	110	4,12	
	Elemento 8	3,54	99	13	112	3,96	
	Elemento 9	5,06	99	10	109	5,51	
	Elemento 10	9,71	100	8	108	10,54	
	Elemento 11	1,31	97	4	101	1,33	
	Elemento 12	5,52	102	20	122	6,74	
Trabalhadora 10	Elemento 1	1,97	103	6	109	2,14	52,75
	Elemento 2	6,47	98	13	111	7,17	
	Elemento 3	2,34	102	15	118	2,75	
	Elemento 4	4,65	100	20	121	5,61	
	Elemento 5	1,98	101	7	108	2,14	
	Elemento 6	6,43	100	12	112	7,21	
	Elemento 7	6,18	103	10	114	7,01	
	Elemento 8	11,84	100	8	108	12,85	
	Elemento 9	4,83	101	20	122	5,88	

Comparando os tempos normalizados obtidos por estas Trabalhadoras, verifica-se que regra geral são mais equilibrados que nas trabalhadoras anteriores. Ambas executam as suas tarefas acima ou bastante próximo do ritmo considerado normal (atividade de referência) já que o fator de atividade médio correspondente ronda os 100%. Tal como ocorre no duo anterior, é possível observar que a ‘aplicação de cola’ é a operação que apresenta o maior tempo normalizado sendo das principais tarefas que agregam valor ao processo.

Quando comparadas lado a lado – Figura 43, observa-se que a Trabalhadora 10 demora mais tempo a colocar as ripas laterais e as centrais. No primeiro caso tal acontece devido ao facto dela ter uma altura baixa, o que leva o movimento de coloca-las em cima da mesa a ser efetuado acima do nível dos ombros provocando o desalinhar das ripas. Em todo o caso, na própria fixação, como tem de ser fixadas sobre uma área de contacto pequena (folga da ripa simples), esta necessita de mais tempo para a executar de forma eficiente já que também é esta a secção da *frame* onde a colagem traz mais problemas. Já no segundo caso a discrepância observada tem a haver com o facto da Trabalhadora não fixar diretamente as ripas após as ir buscar ao carrinho. O facto de ela as pousar de forma desalinhada enquanto espera pelas ripas duplas faz com que despenda de um tempo extra que poderia ser evitado se ela apenas alcançasse as ripas centrais quando se reunissem as condições para as fixar logo.

Também na fixação da ripa simples na parte superior da *frame*, a Trabalhadora 10 insiste durante mais tempo devido à falta de estabilidade que a ripa lateral do lado direito tem impedindo que aquela esquadria seja uma fonte potencial de descolagem.

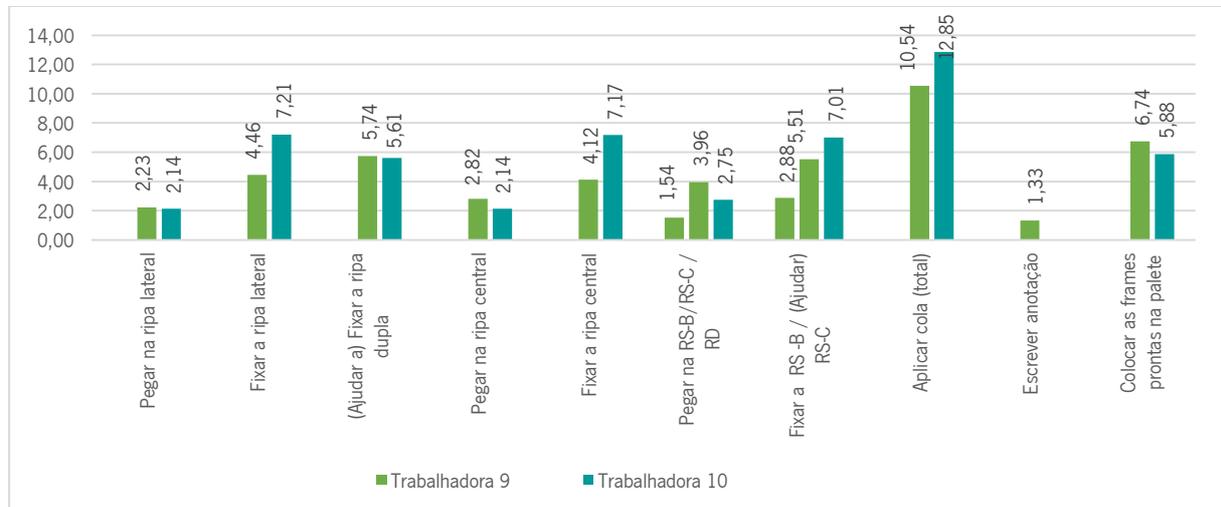


Figura 43 - Comparação de tempos normalizados (seg) _MF: A1_{79,710}

Na montagem final executada por estas trabalhadoras a análise de Pareto permitiu distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Classe A: (Aplicar cola (total), 7,7% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 20% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe B: (Colocar as *frames* prontas na paleta, fixar a ripa lateral e fixar a ripa central, 23,1% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 33,9% do tempo normalizado de ciclo);
- Classe C: (Restantes elementos, 69,2% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 46,1% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 44.

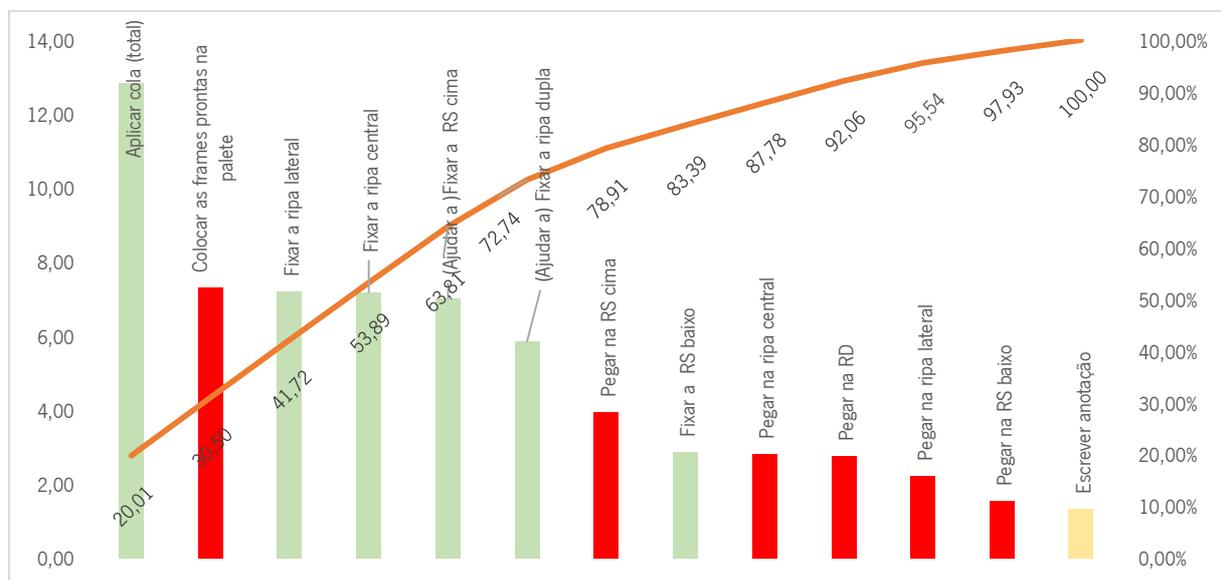


Figura 44 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade MF: A1_{79,710}

Quanto ao valor das tarefas a conclusão é bastante semelhante à anteriormente descrita. As tarefas de valor agregado refletem 67% do tempo de ciclo, distribuindo-se as tarefas de valor não agregado e/ou necessárias para o processo em 2% e 31%, respectivamente – Figura 45.

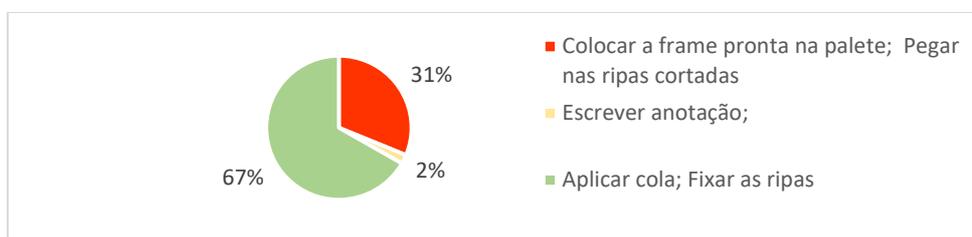


Figura 45 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos_MF, T9 e T10

Tempo Normalizado para a Montagem Final

O NPC esperado para este posto de trabalho nestas condições é de 70 *frames* por hora para cada trabalhadora. Tratando-se de uma produção em duplo, o NPC para as trabalhadoras corresponde a 140 *frames* por hora.

Considerando esta definição pela empresa, este estudo permite concluir que cada trabalhadora, na sua condição física e operacional avaliada, cumpre com o *takt time* de referência (TT) imposto pelo NPC pretendido, conseguindo executar mais do que 1 *frame* a cada 51,4 segundos (3600/70), o que corresponde a uma taxa de produção superior a 1,167 *frames*/min (taxa de produção de referência - TP_r). Desta forma respeitou-se a cadência individual executada como sendo o ritmo imposto para cada uma das trabalhadoras.

Na Tabela 26 encontra-se demonstrada a capacidade atual praticada pelas trabalhadoras nas unidades de tempo por n *frames* e quantidade de *frame* por unidade de tempo – taxa de produção.

Tabela 26 - Capacidade de produção atual MF para um NPC de 70 *frames*/hora

	Tempo de produção (seg)		Taxa de produção por
	de 1,5 <i>frames</i>	de 1 <i>frame</i>	minuto
Trabalhadora 7	63,94	42,63	1,407
Trabalhadora 8	50,74	33,82	1,774
Trabalhadora 9	51,89	34,59	1,734
Trabalhadora 10	52,75	35,17	1,706
Objetivo		TT _r = 51,4 seg	TP _r ≈ 1,167 <i>Frames</i>

Após se terem alcançado os tempos normalizados para cada grupo de operadora, procedeu-se à comparação dos resultados obtidos – Figura 46. Os tempos normalizados apresentados correspondem ao maior dos tempos normalizados verificados em cada duos.

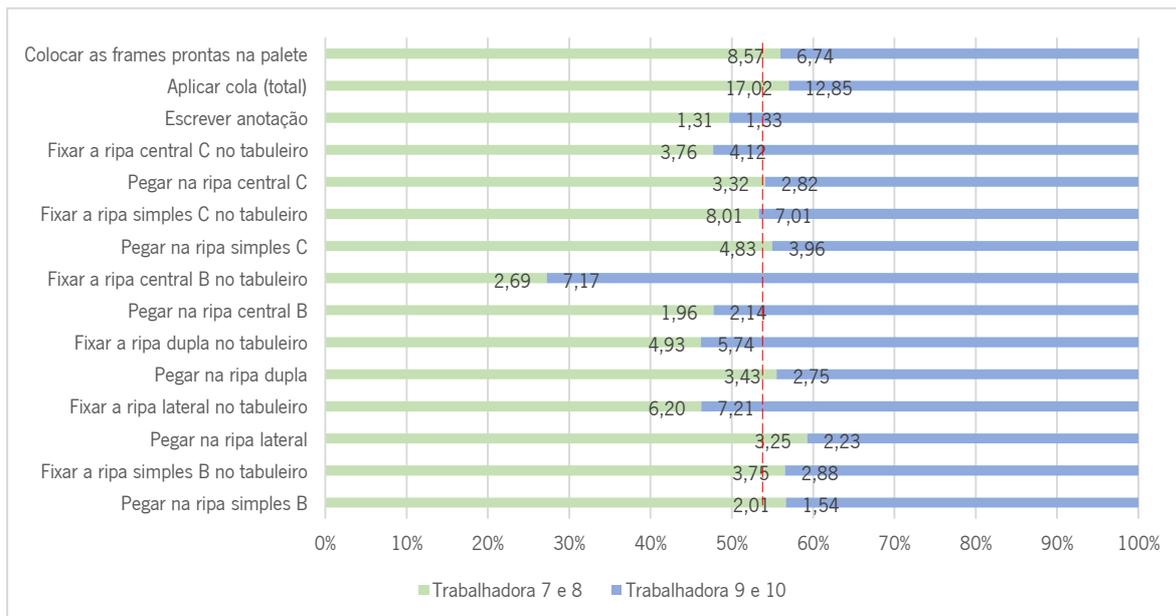


Figura 46 - Comparação dos tempos normalizados da MF entre as trabalhadoras

Globalmente as Trabalhadoras 9 e 10 operam de forma mais rápida já que as praticam a menos de 50% do tempo total entre trabalhadoras para o mesmo elemento da atividade. No entanto observa-se que demoram mais tempo na fixação da ripa central na parte de baixo, pela razão previamente referida. Ao nível do alcance das ripas normais ou pré-montadas, neste processo não se verificaram diferenças significativas no alcance destas dada a disposição no carrinho. Apenas se salienta que nas trabalhadoras mais baixas o alcance das ripas e/ou a sua deposição na mesa de trabalho para alguns tipos de ripa (ripa central, ripa lateral) tinha de ser efetuada acima do nível dos ombros o que por vezes dificultava a continuação do correto alinhamento destas.

4.3 Estudo de caso 2

No seguimento da implementação da robótica colaborativa no posto de pré-montagem, o presente caso de estudo baseou-se numa segunda aplicação deste tipo de robótica noutra secção da empresa. Assim, os responsáveis pelo projeto na empresa apresentaram para avaliação duas possíveis secções para implementação deste tipo de robótica, nomeadamente:

- Posto de trabalho de *cold press* responsável pela cobertura das *frames*, já preenchidas com a estrutura favo de mel, com placas de HDF;
- Posto de montagem de *frames* (analisado anteriormente) nos tabuleiros verticais.

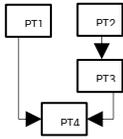
Em ambas as situações foi aplicada a metodologia RULA para a avaliação postural e quantificação do nível de risco de LMERT.

4.3.1. Posto de trabalho Cold Press

A secção da *Cold Press* (CP) representa a área da empresa onde todas as referências de *frames* construídas são preenchidas pelo papelão em favo de mel (do inglês *honeycomb*) e coladas com placas de HDF. Esta secção é constituída por 4 linhas constituídas por 4 postos de trabalho (PT) manuais, conforme representado na Tabela 27, sendo o PT4 aquele que dita a cadência da secção. Nesta secção existe um plano de rotatividade das trabalhadoras a cada duas horas.

Toda a movimentação de componentes dentro desta secção é feita através de rolos transportadores.

Tabela 27 - Postos de Trabalho da secção de Cold Press

PT	Descrição	Nº Op	Fluxo produtivo
1	Aplicação de cola nas placas HDF (auxiliado por máquina)	1	
2	Desmantelamento da pilha de <i>frames</i>	1	
3	Enchimento das <i>frames</i> com <i>honeycomb</i>	1	
4	<i>Cold Press</i>	2	

Quanto ao posto de trabalho da *Cold Press* (PT4), a principal função das duas trabalhadoras que aqui operam – Trabalhadora 11 e Trabalhadora 12 - é empilhar as *frames* que chegam pelo lado direito, PT3, através de rolos transportadores, intercalando-os com as placas finas de HDF com cola, que chegam através do lado esquerdo, PT1, gerando uma espécie de sanduíche.

Dependendo da referência e da espessura em questão, o número de *frames* empilhadas pode variar. Como regra geral, a construção da palete não pode ser superior a 10 minutos sendo este o tempo de abertura da cola inserida nas referidas placas.

Seguidamente são tecidas algumas considerações sobre o posto de trabalho:

- Do lado esquerdo chegam as placas de HDF que são movimentadas pela Trabalhadora 11 dos rolos transportadores para cima de cada *frame* na palete. Estas placas agrupadas em duo vêm com cola nas superfícies externas de modo a só ser preciso alocá-las devidamente em cima das *frames*;

- Do lado direito chegam as *frames* empilhadas em n unidades (cerca de 7 *frames* para a referência observada) assim como a *baseboard* que tem de ser depositada pela Trabalhadora 12 no início de cada nova palete;

- Na zona de operação comum, existe uma plataforma que se move verticalmente de modo a que a intervenção das trabalhadoras possa ocorrer sempre à mesma altura;

- Quando a palete se encontra pronta (cerca de 32 *frames* para a referência observada), o carrinho onde opera a Trabalhadora 12 desloca-se para a posição de 'envio da palete', elevando-se a plataforma que tem por baixo assim como a que suporta a palete. No momento seguinte, só é necessário

fazer deslizar a *baseboard* preenchida, encaminhando-a para os rolos transportadores posteriores. O seu destino irá ser a prensagem no posto de trabalho seguinte para a melhor fixação da cola.

Na Figura 47 encontra-se representado o posto de trabalho no modo de operação atual.

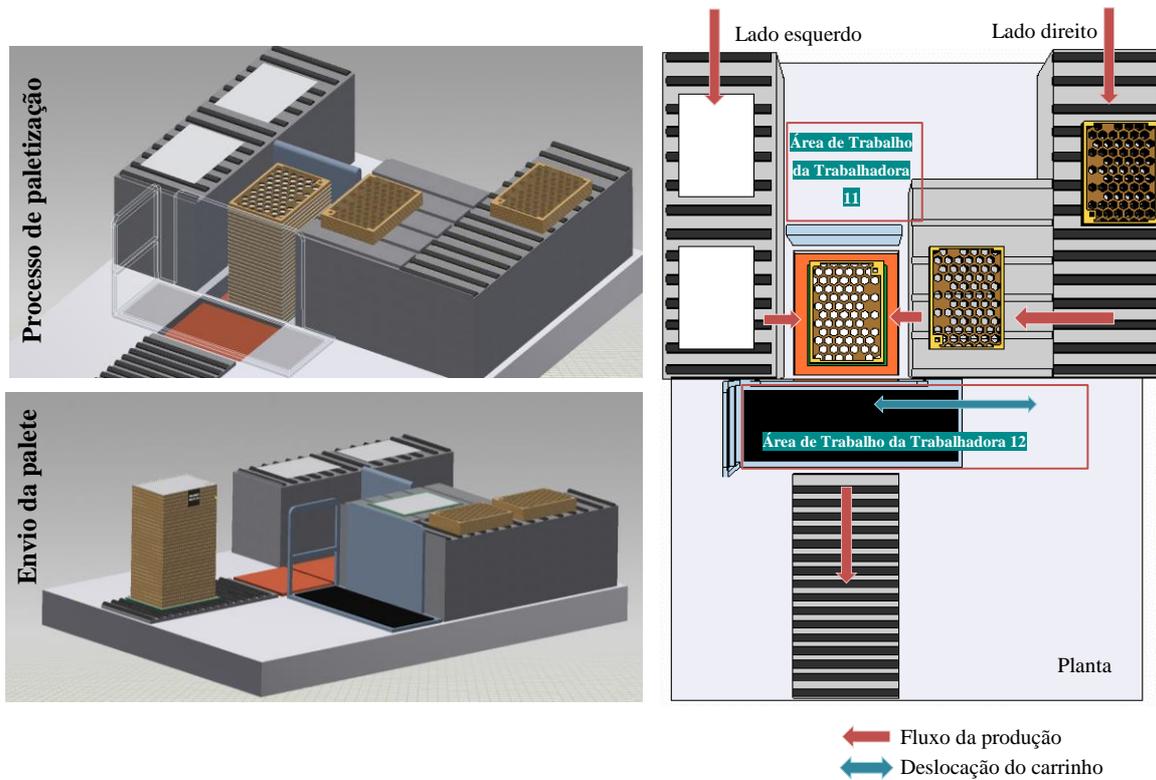


Figura 47 - Representação do posto de Cold Press

Através da observação da filmagem do ciclo de trabalho, importou avaliar as posturas praticadas pelas trabalhadoras para se entender o nível de risco de LMERT associado ao posto. Assim, para a *Cold Press*, definiram-se os elementos de operação, para ambas as trabalhadoras, presentes na Tabela 28.

Tabela 28 - Decomposição em elementos das atividades da CP_ Trabalhadora 11 e 12

		Cold Press	
L		<i>Trabalhadora 11</i>	<i>Trabalhadora 12</i>
Elemento 1		Alinhar as <i>frames</i> com um martelo	Alcançar e empilhar as <i>frames</i> 
Elemento 2		Alcançar a <i>baseboard</i>	
Elemento 3		Posicionar a <i>baseboard</i>	
Elemento 4	Alcançar a placa HDF e empilhar 		

Durante a realização da paletização foram encontradas manipulações irregulares inerentes ao processo devido às *frames* estarem coladas entre si o que dificultou o seu alcance e consequente pega de forma rápida, bem como situações onde o *honeycomb* estava mal posicionado e acabava por ter de ser repostado. Estes erros, atrasando o processo, podem ter origem em fatores controláveis e solucionáveis.

Embora o processo produtivo nesta secção envolva a deposição de várias *frames* na *baseboard*, apenas se irá considerar o tempo médio de colocação de uma unidade, com base num número N de observações.

Com base no tempo observado t para cada elemento i e feita a correspondente avaliação com a metodologia RULA R_i foi possível de se calcular o nível de risco ponderado para cada *frame*, designado o RULA ponderado RP – Equação 5.

$$RP = \frac{\sum_{i=1}^n R_i * t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (5)$$

De seguida apresentam-se os resultados obtidos – Tabela 29 - ordenados por nível decrescente de risco (RULA) para as Trabalhadoras 11 e 12, respetivamente.

Tabela 29 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na Cold Press

<i>Cold Press</i>	Descrição	T Obs (t _i)	RULA (R _i)
Elemento 1, T11	Alinhar as <i>frames</i> com um martelo	7,98	7
Elemento 4, T11	Alcançar a placa HDF e empilhar	3,19 ± 0,76 (N=32)	7
Elemento 2, T11	Alcançar a <i>baseboard</i>	2,12	7
Elemento 1, T12	Alcançar e empilhar as <i>frames</i>	3,56 ± 1,27 (N=31)	3
Elemento 3, T11	Posicionar a <i>baseboard</i>	2,55	2
Tempo de Ciclo (seg)			11,7
RP_{CP}			4,7

Como se observa pelos resultados obtidos, é o elemento de alinhamento de *frames* que ocupa maior percentagem do tempo de ciclo e que assume a maior pontuação RULA, devido ao facto da postura praticada envolver a operação com alto nível de flexão do tronco bem como a sua rotação, Da mesma forma, as tarefas que acrescentam valor ao processo, que são o alcance e empilhamento da placa de HDF e das *frames* também apresentam uma avaliação RULA elevada dado o elevado número de rotações que o tronco faz.

4.3.2. Montagem vertical: Gama B

Como anteriormente mencionado, neste segundo estudo de caso os postos de montagem de *frames* nos tabuleiros verticais foram considerados para uma futura implementação de robótica colaborativa. Nesta análise inicial, e para comparar alguns parâmetros com o posto da *Cold Press*, foi selecionada uma outra gama de mobiliário disponível na empresa (doravante denominada Gama B). Esta centra-se essencialmente na produção de secretárias, postos de trabalho e módulos de arrumação.

De entre as diversas referências de *frames* necessárias para a produção desta gama de produtos, a empresa destacou duas, relativas ao tampo e a uma lateral, como sendo aquelas cuja procura é superior gerando um volume de produção maior e mais periódico: B2 e B3. De momento estas referências encontram-se a ser produzidas nos tabuleiros de montagem verticais na forma simples, sendo o objetivo passá-las a produzir em duplo, tal como representado na Figura 48.



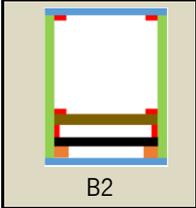
Figura 48 - Modelo de produção das frames da gama B

Numa primeira fase, com base nas filmagens disponibilizadas pela empresa, observou-se cada ciclo de trabalho para cada referência operado por uma trabalhadora. Seguidamente decompôs-se cada ciclo de produção nos respetivos n elementos. A avaliação postural considerou de entre as posições adotadas mais frequentes, aquela que seria a mais crítica para os membros superiores. Com base no tempo observado t para cada elemento i e feita a correspondente avaliação com a metodologia RULA – Anexo 14 e Anexo 15-, foi possível calcular o nível de risco ponderado (Equação 5) para cada *frame*. Quanto maior for esta pontuação RULA e correspondente nível de ação, maior é o risco de a produção de *frames* originar e/ou agravar lesões nos membros superiores e maior será o interesse em integrar a robótica colaborativa no auxílio das tarefas. De seguida apresentam-se os resultados obtidos – Tabela 30 e Tabela 31 - ordenados por nível decrescente de risco (RULA) para as *frames* B3 e B2, respetivamente.

Tabela 30 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na frame B3

 B3	Descrição	T Obs (t_i)	RULA (R_i)
Elemento 4	Selecionar e pousar cubos (4 pares)	6,22	7
Elemento 10	Selecionar e pousar cubos (2 pares)	3,29	7
Elemento 12	Selecionar e pousar cubos (2 pares)	3,73	7
Elemento 5	Aplicar cola nos cubos (2 pares)	2,14	6
Elemento 7	Aplicar cola nos cubos (2 pares)	2,7	6
Elemento 9	Aplicar cola junto ao canto inferior esquerdo	2,18	6
Elemento 13	Aplicar cola nos cubos (2 pares)	2,44	6
Elemento 11	Fixar cubos 	2,44	5
Elemento 14	Fixar cubos 	4,44	5
Elemento 16	Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	3,56	5
Elemento 3	Pegar nas ripas amarelas e colocar no tabuleiro em cima	2,26	4
Elemento 6	Fixar cubos (direita – na vertical)	4,11	4
Elemento 8	Fixar cubos (esquerda – na vertical)	3,59	4
Elemento 1	Pegar nas ripas amarelas e colocar na base do tabuleiro	1,74	3
Elemento 2	Pegar nas ripas cinzentas e colocar nas laterais	3,34	3
Elemento 15	Fazer anotação	1,25	3
		Tempo de Ciclo (seg)	49,43
		RP_{F.B3}	5,30

Tabela 31 - Resultados obtidos da aplicação do RULA na frame B2

 B2		Descrição	T Obs (t _i)	RULA (R _i)
Elemento 2	Pegar nas ripas verdes e colocar dos dois lados	7,2	7	
Elemento 5	Selecionar e pousar cubos (2 trios)	5,52	7	
Elemento 4	Selecionar e pousar cubos (2 trios)	4,86	7	
Elemento 16	Selecionar e pousar cubos (2 trios)	4,53	7	
Elemento 20	Colocar as frames prontas na palete	4,38	7	
Elemento 11	Selecionar e pousar cubos (2 trios)	3,7	7	
Elemento 3	Pegar nas ripas azuis e colocar no topo	2,96	7	
Elemento 15	Pegar nas ripas castanhas e fixar no respetivo sítio	7,26	6	
Elemento 9	Fixar cubos em cima (direta e esquerda – na horizontal)	4,51	6	
Elemento 1	Pegar nas ripas azuis e colocar na base do tabuleiro	2,35	6	
Elemento 8	Aplicar cola nos cubos e no topo dos cubos	4,57	4	
Elemento 7	Aplicar cola nos cubos e fixar na direita	3,7	4	
Elemento 12	Aplicar cola nos cubos	3,33	4	
Elemento 6	Aplicar cola nos cubos e fixar na esquerda	2,93	4	
Elemento 17	Aplicar cola nos cubos	2,88	4	
Elemento 19	Escrever anotação	2,01	4	
Elemento 14	Aplicar cola no topo dos cubos intermédios	1,79	4	
Elemento 10	Pegar nas ripas pretas e fixar no respetivo sítio	5,92	3	
Elemento 13	Fixar cubos em baixo (direta e esquerda – na vertical)	4,31	3	
Elemento 18	Fixar cubos no meio (direta e esquerda – na horizontal)	3,03	3	
Tempo de Ciclo (seg)			81,74	
RP_{F.B2}			5,40	

Como se observa, em ambas as frames o elemento de seleção de cubos assume o nível de risco mais alto (7). Tal se deve não só ao facto do abastecimento deste posto de trabalho ser feito por baixo do tabuleiro vertical, o que faz com as trabalhadoras se inclinarem para alcançar os cubos, como também devido ao facto dos cubos estarem dispostos em caixas, de forma desordenada o que os torna difíceis de alcançar.

Da mesma forma, a deposição das frames prontas em cima da palete de produto acabado apresenta um nível de risco alto (5 e 7), salientando-se a má estabilização dos membros inferiores

aquando da deposição, já que as trabalhadoras apenas se apoiam numa das pernas, mas também devido à carga que suportam e tem que, algumas das vezes, depositar na forma correta e cuidada abaixo do nível dos ombros de modo a não estragar as *frames*.

Ainda assim, sob a premissa de que as trabalhadoras operam na forma a que estão mais habituadas, possuem diferentes estaturas físicas, anos de atividade, limitações e modos de operação, é importante considerar estes fatores na análise podendo estes ser indicadores de posturas viciadas. Esta será a razão pela qual, em *frames* diferentes, com diferentes níveis de dificuldade e tempos de ciclo, os resultados apresentados sejam discrepantes no que toca ao nível de risco para um elemento semelhante.

Mesmo assim, com base na análise e considerando cada trabalhadora representativa do modo de operação numa dada *frame*, conclui-se que a *frame* B2 apresenta maior nível de ação, sendo o principal foco desta a resolução de problemas ergonómicos associados à seleção de cubos, deposição de ripas acima do nível dos ombros e na palete e no abastecimento lateral de ripas. Este nível de ação indica que é necessária uma investigação num futuro próximo.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS – ESTUDO DE CASO 1

Neste capítulo explora-se a solução colaborativa encontrada, a sua de utilização inicial (fase de testes) bem como o impacto da sua implementação na vertente ergonómica e produtiva. Paralelamente, abordar-se-á o questionário aplicado para recolha de perceções antes e após a implementação do sistema colaborativo assim como os respetivos resultados.

5.1 Implementação na fábrica

Para o caso da pré-montagem, os requisitos para o novo posto de trabalho, tendo em conta o estado da situação atual, passavam por:

- Eliminar ou substituir as tarefas de aplicação de cola, já que era a tarefa mais crítica em termos ergonómicos e a fisicamente mais exigente devida à repetibilidade das ações pelo sistema mão-pulso;
- Ter em consideração as medidas antropométricas para a população feminina com o objetivo de corrigir a altura do plano de trabalhos por forma a corrigir as posturas adotadas;
- Implementar medidas corretivas com o objetivo de reduzir a exposição ao ruído que dificultava a comunicação entre as trabalhadoras;
- Reduzir o tempo de ciclo no processo trazendo um incremento na produtividade, sob a premissa principal de nunca comprometer as questões ergonómicas para as trabalhadoras.

A colaboração humano-robot foi conseguida com a implementação do braço colaborativo da Universal Robots designado UR10e (série e). Este *cobot*, extremamente versátil, pertencente à serie 'e' e tem uma capacidade de carga útil elevada de 10kg com o maior alcance de 1300mm. Apesar de ser o que possui o maior alcance entre as soluções equivalente, este não compromete a precisão ou o desempenho da carga manipulada. Dispõe também de diversos acessórios compatíveis com utilizações versáteis que se consegue inserir, tendo uma programação intuitiva (Universal Robots, 2020). O *cobot* utilizado encontra-se representado na Figura 49. Feitos os estudos e desenvolvido o projeto, o investimento para esta secção, incluindo todos os automatismos necessários, equipamentos de avaliação ergonómica e produção da mesa de trabalho totalizaram um valor de 90921,48€.



Figura 49 - Braços colaborativos, Universal Robots série-e: UR10e

Aquando da concepção do novo posto de trabalho, a função atribuída ao *cobot* foi auxiliar no abastecimento dos cubos para a mesa de trabalho, assim como incluir um automatismo que lhes aplicasse cola. Desta forma, as trabalhadoras apenas teriam de pegar neles, colocá-los e fixá-los nos devidos sítios das ripas. A concepção, desenvolvimento e produção do novo posto de trabalho contou com a intervenção de uma empresa prestadora de serviços na área da engenharia ligados a automação industrial, entre outras, desde 1991. Após a instalação foi feita uma avaliação, reconhecimento e validação do sistema montado de acordo com os sistemas nacionais e europeus e da normalização, da qualificação e da marcação CE. Por fim, uma organização prestadora de apoio tecnológico à indústria metalomecânica foi a responsável pela certificação de segurança do sistema montado, estando este a seguir todas as normas devidas. Na Figura 50 representa-se o sistema desenvolvido para a integração da robótica colaborativa no posto da pré-montagem.

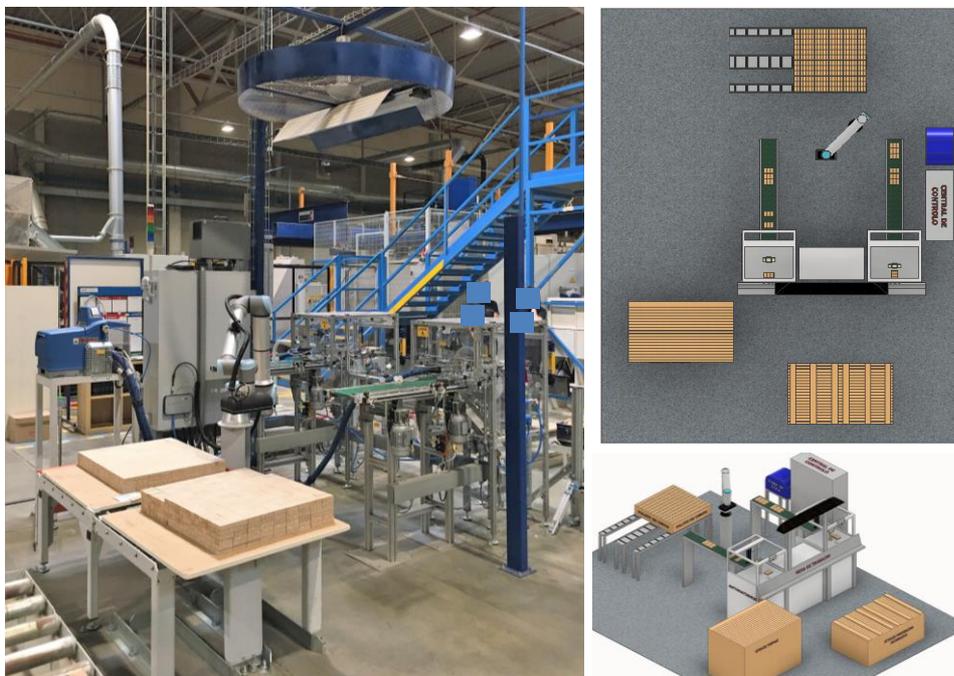


Figura 50 - Representação do posto da pré-montagem com a integração do *cobot*

O funcionamento do novo posto pode ser descrito de acordo com três localizações:

- Frente: é nesta parte que se enquadra a mesa de trabalho, o *stock* de ripas (*input*) e do produto acabado (ripas simples e duplas) à semelhança do que ocorria anteriormente. As trabalhadoras dispõem de uma interface com comandos (botões), com a função de cada um dos mesmo devidamente identificada, onde podem (1) acionar a entrega dos 3 trios de cubos – Pedido peça, (2) parar a sua entrega para os casos onde algum dos trios anteriores teve algum tipo de problema e apenas é necessária uma ou duas recargas da série seguinte – RESET Segurança, (3) parar de emergência ou (4) desligar a máquina. O botão verde indica o estado de funcionamento do sistema enquanto que o amarelo é

referente à possibilidade, quando luminoso, das trabalhadoras puderem aceder à zona central do posto de trabalho sem que o sistema encerre de emergência – Figura 51.

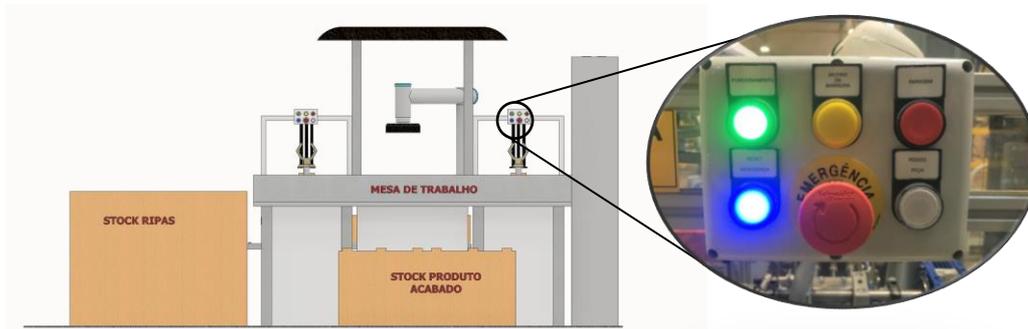


Figura 51 - Representação do sistema colaborativo: Parte frontal

- Parte posterior: onde é feito o abastecimento dos cubos sob a forma de palete com 10*9*21 unidades. A *gripper* do *cobot* tem capacidade para agarrar um lote de 9 cubos de uma vez, através de vácuo, e dispõe-os numa mesa com tapete rolante que num segundo momento o desagrega em 3 filas de 3 de cubos. O *cobot* é ativado quando apenas existe no tapete um lote, tendo o tapete a capacidade para dois lotes – Figura 52.

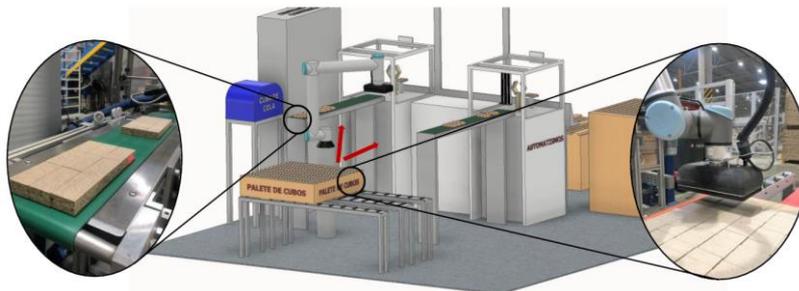


Figura 52 - Representação do sistema colaborativo: Parte posterior

- Parte central: localização da parte dos automatismos responsáveis por encaminhar os trios sequenciais de cubos do tapete até ao prato final onde são alcançados pelas trabalhadoras. Quando atingem o limite do tapete, os cubos são agarrados por um dispensador que os retira do tapete ao mesmo tempo que lhes é aplicada cola na superfície superior, cola esta que provém de uma cuba existente na lateral. O dispensador gira-os 180° até os pousar no prato final, ficando a superfície com cola voltada para baixo. Por fim, este prato roda 90° para facilitar a sua pega por parte das trabalhadoras – Figura 53.



Figura 53 - Representação do sistema colaborativo: Parte central

A fase de testes consistiu não só numa formação das trabalhadoras do posto sobre como operar com o novo sistema de trabalho, mas também teve por objetivo fazer os devidos ajustes necessários ao bom funcionamento do sistema. O principal obstáculo verificou-se na sintonia dos tempos entre o modo de operação manual (Tempo de Ciclo das trabalhadoras) e a componente máquina/automática (Tempo do dispensador), já que havia alguns períodos em que as trabalhadoras tinham de esperar pelo funcionamento do dispensador.

Foi inicialmente feito um estudo de tempos tendo por base as novas tarefas na produção da ripa simples. Pela observação direta de filmagens puderam-se cronometrar 41 ciclos de trabalho, extraíndo-se 7 destes ciclos devido a erros no sistema tais como a falta de cola em alguns dos cubos dispensados e/ou maior dificuldade de retirar as ripas do tabuleiro.

Na Tabela 32 apresenta-se o valor médio dos tempos observados (TO) e o respetivo desvio padrão ($n=34$ ciclos) para a conceção das ripas simples.

Tabela 32 - Estudo dos tempos de ciclo da PM: Fase de teste

<i>Elemento</i>	<i>TO médio (seg)</i>	<i>TO médio do ciclo (seg)</i>	<i>TO médio das esperas/ciclo (seg)</i>
1. Acionar sistema e transferir ripas.	6,06±0,99		
2. Alcançar e colar cubos.	3,85±1,11		
3. Espera pelo dispensador de cubos.	3,52±0,87		
4. Alcançar e colar cubos.	3,97±0,84	31,29±2,40	7,01±1,05
5. Espera pelo dispensador de cubos.	3,49±0,49		
6. Alcançar e colar cubos.	4,73±1,00		
7. Transferir ripas para a paleta.	5,67±1,89		

Como se observa, existem 2 elementos (Elemento 3 e 5) que traduzem a inatividade das trabalhadoras (tempos de espera) em 22,40% do tempo de ciclo observado. Como tal pode-se afirmar que o dispensador de cubos está a ser o *bottleneck* do sistema, sendo este quem impõe e atrasa o ritmo do processo. Sem as demoras causadas, o tempo médio de ciclo obtido seria cerca de 7 segundos inferior ao atualmente verificado, tempo este que seria inferior à operação totalmente manual (24,28 segundos *versus* 25,32 segundos, respetivamente).

Quando comparados os tempos observados médios entre a situação inicial e a atual (Tabela 33), vê-se que na grande maioria dos elementos, ainda não se observam, diferenças significativas do tempo praticado. Esta evidência deve-se ao facto das trabalhadoras ainda estarem em processo de aprendizagem e, provavelmente, o seu desempenho estar a ser influenciado pelo ritmo do dispensador de cubos.

Tabela 33 - Análise comparativa de elementos da PM: Fase de teste

<i>Elemento Novo</i>	<i>TO médio (seg)</i>	<i>ESTADO</i>	<i>TO médio (seg)</i>	<i>Elemento Inicial</i>
Acionar sistema e transferir ripas.	6,06 (0,99)		5,26 (1,01)	Pegar nas ripas Cortadas + Colocar na mesa de trabalho + Escrever Anotação
Alcançar e colar cubos.	12,55 (2,95)		7,44 (0,91)	Fixar os cubos
Espera pelo dispensador de cubos.	7,01(1,05)		10,12 (1,34)	Selecionar os cubos da caixa + Aplicar Cola
Transferir ripas para a palete.	5,67 (1,89)		2,44 (0,35)	Colocar as ripas prontas na palete
TOTAL	31,29 (2,40)		25,32 (3,70)	TOTAL

Na análise dos tempos do dispensador (tempos máquina - Tabela 34), este estava a trabalhar a 100% e considerou-se dois tipos de observações – (i) quando o dispensador está a rodar o prato final 90° e (ii) o dispensador não roda o prato.

A lista de tempos de ação contempla todas as tarefas/operações que cada trio de cubos envolve no decorrer do seu próprio processamento, estando inseridas entre o instante em que o dispensador agarra dois trios de cubos consecutivos – ciclo do dispensador.

Tabela 34 - Estudo dos tempos do dispensador da PM: fase de teste

<i>Tempo Ação</i>	<i>Rotação Prato 90°</i>	<i>Rotação Prato 0°</i>	<i>Média</i>	<i>Porcentagem</i>	
Puxa blocos	0,58	0,58	0,58	8%	
Espera	0,28	0,26	0,27	4%	
Rotação 180° rápida	1,12	1,12	1,12	15%	
Rotação 180° lenta	0,75	0,76	0,76	10%	
Espera	0,23	0,19	0,21	3%	
Abrir garra	0,07	0,09	0,08	1%	
Espera	0,75	0,73	0,74	10%	
Rotação 180° rápida	1,10	1,11	1,11	15%	
Rotação 180° lenta	0,77	0,77	0,77	10%	
Avançar garra	0,31	0,31	0,31	4%	
Espera	0,34	0,33	0,33	5%	
Avançar tapete	0,12	0,11	0,11	2%	
Espera	0,31	0,33	0,32	4%	
Fechar garra	0,09	0,08	0,09	1%	
Espera	0,61	0,63	0,62	8%	
<i>Um conjunto de blocos</i>	<i>Tempo Útil</i>	4,93	4,92	4,92	66%
	<i>Tempo Espera</i>	2,51	2,48	2,49	34%
	<i>Tempo total</i>	7,44	7,39	7,42	100%
<i>Três conjuntos de blocos, um ciclo</i>	<i>Tempo Útil</i>	14,78	14,75	14,76	66%
	<i>Tempo Espera</i>	7,53	7,44	7,48	34%
	<i>Tempo total</i>	22,31	22,18	22,25	100%

Em ambos os casos a interação entre as partes ocorre a 100% o que significa que as trabalhadoras operam em paralelo com o funcionamento do sistema. A principal diferença observada

Paralelamente à necessidade de retificação do sistema de dispensar cubos, importava também melhorar e refazer o tabuleiro de montagem para facilitar a retirada das ripas dado não ter sido feito com base nas especificações requeridas.

5.2 Avaliação das percepções das trabalhadoras

Como forma de avaliar a percepção das trabalhadoras sobre a aplicação da robótica em contexto industrial e as melhorias ergonómicas associadas foi elaborado e aplicado um questionário. Inicialmente, este foi construído com o intuito de se aplicar às trabalhadoras da pré-montagem antes e depois de operarem na nova célula de trabalho.

Contudo, com o decorrer do trabalho de investigação, optou-se por aplicar parte deste questionário a outras trabalhadoras da empresa com o objetivo de auscultar as suas opiniões para futuras aplicações robóticas (tal como exposto em 6.3).

Este questionário para além da caracterização inicial da população envolvida no estudo (categoria A) compreendeu duas grandes áreas: robótica (questões incluídas nas categorias B e C) e ergonomia (questões das categorias D a G). A primeira área é atribuída aos conhecimentos genéricos sobre a robótica e as suas potencialidades. Numa segunda parte do questionário é feita uma avaliação da qualidade ergonómica ao posto de trabalho da pré-montagem.

A elaboração deste questionário (Anexo 16) baseou-se na revisão bibliográfica de estudos prévios, sendo que o resumo da sua estrutura e das ferramentas adaptadas encontram-se descritos na Tabela 35.

Tabela 35 - Resumo da estrutura do questionário aplicado às trabalhadoras da PM

<i>Categoria</i>	<i>Parâmetros avaliados</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Ferramentas adaptadas</i>
A. Caracterização das trabalhadoras	Idade, Antiguidade na montagem de <i>frames</i> , LME/LMERT.	Caracterização demográfica da amostra de trabalhadoras.	Questões diretas.
ROBÓTICA			
B. Percepção sobre a influência da robótica no contexto ocupacional/ produção	Compreensão individual sobre a implementação da robótica no meio de trabalho	Avaliação do discernimento genérico sobre influência da robótica ao nível da produção, condições de trabalho, exigências nos postos de trabalho e aceitação e colaboração com o ser humano.	Escala de Likert (0-5) Adaptado de Neves Rombão (2019)
C. Robótica tradicional vs Robótica colaborativa	Aplicabilidade familiaridade, requisitos e conceitos atribuídos à robótica tradicional e colaborativa.	Identificação do nível de conhecimento entre os <i>cobots</i> e os <i>robots</i> ; Identificação das expectativas e preocupações para a adoção dos mesmos; Recolha da opinião pessoal acerca da aplicação destes em ambiente industrial.	Questões de seleção única e múltipla; Resposta aberta; Escala de Likert (0-5) Adaptado de Aaltonen & Salmi (2019) e Kildal et al. (2018)
ERGONOMIA			
D. Avaliação do posto de trabalho	Opinião global sobre a estação de trabalho da PM.	Reunir a percepção dos trabalhadores sobre o seu posto de trabalho; Identificação de possíveis fatores de risco	EWA Abordado em 2.4.3 (Ahonen et al., 1989)
E. Percepção de esforço associado às tarefas	Percepção de esforço para cada tarefa da PM.	Avaliação da percepção de esforço sentida pelas trabalhadoras; Identificação da tarefa mais exigente.	Escala CR-10 de Borg (Shariat et al., 2018)
F. Avaliação global do posto de trabalho no estado corrente	Opinião global sobre a estação de trabalho da PM.	Recolha de opinião das trabalhadoras sobre as possíveis melhorias do posto de trabalho da PM; Comparação entre o posto da PM e da montagem.	Escala de Likert (0-5); Resposta aberta

Na primeira parte do questionário - categoria A - foi feita a análise demográfica da população de cada estudo baseada na recolha de dados como a idade, antiguidade no posto de trabalho e lesões musculoesqueléticas que possam estar ou não relacionadas com o trabalho.

Posteriormente procurou-se reunir um conjunto de questões pertinentes relativas à abrangência da influência que a implementação da robótica pode ter em aspetos ligados à produção, condições de trabalho e colaboração entre humanos e *robots* – categoria B. Esta categoria foi inspirada e adaptada da análise feita pela Mafalda Rombão (2019) no estudo de conduziu sobre a influência da Inteligência Artificial na sociedade e nas empresas. No caso concreto do estudo, o objetivo passou por avaliar o grau de conhecimento e aceitação da robótica em meio industrial, não necessariamente centrado na indústria de produção de mobiliário, e das consequências e expectativas relativas à sua articulação no trabalho entre *robots* e os trabalhadores em geral. Assim, num total de 12 afirmações, igualmente avaliadas numa perceção positiva e negativa da robótica (Questão 2/3/4/7/9/11 e restantes, respetivamente), as trabalhadoras tinham de assinalar o seu grau de concordância numa escala de Likert-5 (0- Sem opinião; 1- Desacordo total; 2- Pouca concordância; 3-Neutro; 4- Alguma concordância; 5- Totalmente de acordo).

Na categoria C investigou-se o nível de conhecimento e de distinção que as trabalhadoras tinham relativamente à robótica tradicional e colaborativa, bem como avaliaram-se as potenciais preocupações, barreiras e expectativas para a adoção e aceitação dos *cobots* ao nível das trabalhadoras. Nesta fase o objetivo passou por envolver as trabalhadoras no seu meio de trabalho, centrando-se as questões nos postos de trabalhos da empresa e na possibilidade de uma colaboração com um *cobot*. Esta categoria foi inspirada e adaptada de dois estudos conduzidos em estudantes da área da robótica/mecânica e potenciais utilizadores de *cobots* considerando as experiências, barreiras e expectativas da implementação dos *cobots* na indústria (Aaltonen & Salmi, 2019; Kildal et al., 2018). As 8 questões foram distribuídas entre respostas de seleção única (C3, C5, C7), múltipla (C1, C2, C4, C6), resposta aberta (C6.1, C9) e de avaliação na escala de Likert 5 (C8) de acordo com o grau de compromisso entre o requisito e a sua importância na HRC (0- Sem opinião; 1- Não compromete de todo; 2- Não tem grande influência; 3-Neutro; 4- Influência de alguma forma; 5- Fator determinante).

Por forma a registarem-se a perceção das trabalhadoras sobre o seu posto de trabalho foi aplicado o método de Análise Ergonómica do Espaço de Trabalho (do inglês, *Ergonomics Workplace Analysis* – EWA), exposto no capítulo 2.4.3 (Ahonen et al., 1989) – categoria D.

Na categoria E encontra-se a avaliação das tarefas da pré-montagem quanto ao esforço percecionado na escala de Borg-10 (Shariat et al., 2018). Para Borg esta escala é necessária como forma de quantificar sensações de sobrecarga subjetiva tal como a perceção do esforço e do desconforto. A

facilidade de compreensão de cada valor desta escala entre indivíduos facilita o seu uso em diversas comparações o que a faz funcionar como referência de recolhas de diversas opiniões expostas a diferentes sobrecargas e esforços físicos assim como diferentes condições de trabalho (Shariat et al., 2018).

Por fim, é na categoria F onde se incide sobre o posto da pré-montagem no seu estado corrente (solução tradicional), procurando-se saber a opinião global das trabalhadoras acerca do mesmo. Às trabalhadoras foi pedido que quantificassem numa escala de Likert-5 (como aplicado na categoria B) as seis afirmações criadas (F1) tendo em vista a caracterização do posto da pré-montagem como um novo posto criado para as acomodar. Foi também incluindo um espaço de resposta aberta (F2) caso as trabalhadoras quisessem tecer algum comentário adicional ou apontar sugestões de melhoria no posto. O formulário utilizado pode ser consultado no Anexo 14 (Parte VI).

Tal como referido anteriormente, o questionário foi aplicado antes e depois da implementação da solução robótica, por isso no momento inicial as trabalhadoras responderam apenas às questões das categorias A, B e C. Esta abordagem permitiu aferir se as perceções das trabalhadoras se alteram com o aumento da familiaridade com a robótica colaborativa. Por isso, depois dessas trabalhadoras operarem cerca de um mês no novo posto, o questionário voltou a ser aplicado. Neste momento, as trabalhadoras responderam a todas as categorias, incluindo as da qualidade ergonómica referentes ao novo posto.

A aplicação do questionário foi sempre realizada com a presença da investigadora. As trabalhadoras dispunham de uma cópia do formulário à sua frente em papel, sendo sempre que necessário providenciados os esclarecimentos necessários sobre as questões lá existentes. As trabalhadoras participaram no estudo de forma livre, esclarecida e voluntária. No início do projeto de investigação as trabalhadoras leram e assinaram um termo de consentimento, tendo todo o projeto sido aprovado pela Comissão de ética para investigação em Ciências Sociais e Humanas da Universidade do Minho (número de aprovação CEICSH 095/2019) em concordância com a declaração de Helsínquia (processo submetido pela equipa do DTx Colab).

5.2.1. Perceções antes da implementação

Um total de quatro trabalhadoras do sexo feminino foram alocadas pela empresa no posto de pré-montagem. Com base na informação do departamento de saúde ocupacional, as idades rondavam os $40,8 \pm 7,0$ anos tendo elas uma antiguidade no posto de pré-montagem de $11,0 \pm 5,7$ meses. Todas elas reportaram pelo menos um problema musculoesquelético, tal como escoliose, tendinites, síndromes do túnel cárpico e hérnia discal.

Acerca dos conhecimentos e opiniões inerentes à influência da robótica na produção os resultados (Figura 55) mostraram que as quatro trabalhadoras tinham uma percepção bastante semelhante. Nas afirmações que traduziam uma percepção negativa, as trabalhadoras demonstraram concordância em 20,83% destas, nomeadamente na possibilidade do ser humano vir a sentir-se ameaçado e inseguro pelos riscos da robótica (Q6) e na risco de perda dos seus postos de trabalho (Q1). Quanto às afirmações de percepção positiva, as trabalhadoras concordaram em 31,25% maioritariamente atribuídas à implementação da robótica como forma de auxiliar as tarefas associadas a esforços repetitivos e/ou monótonas (Q7), como forma de ajustar o horário de trabalho e melhorar as condições de trabalho (Q3), na capacidade de serem partilhadas tarefas entre humanos e *cobot* (Q1) e no facto dos *robots* serem uma fonte de desenvolvimento para as empresas em todos os setores de atividade (Q9). Em termos relativos, predominam as categorias de concordância (nível 4) em 52% e a posição neutra (nível 3) em 34% das questões defendendo que a resposta às questões dependeria do caso concreto em que se estivesse a falar e/ou não conseguiam assumir uma posição face a ambas pois partilhavam de ambas as opiniões.

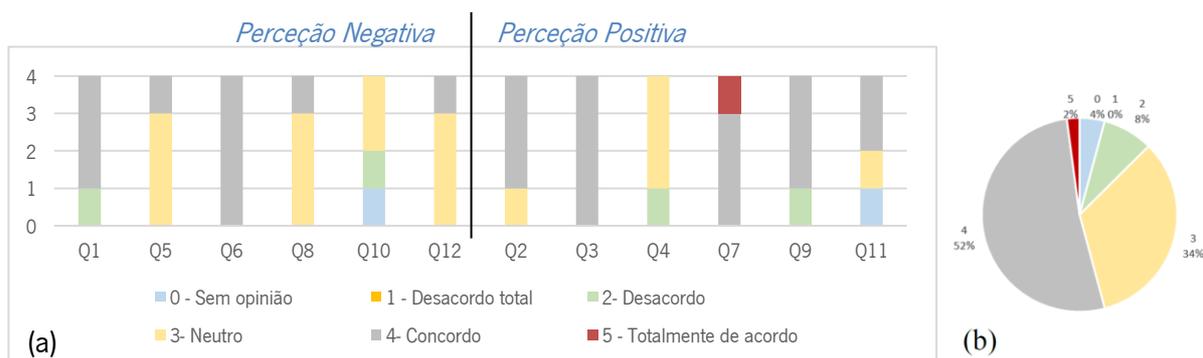


Figura 55 – Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=4) - PM

No seguimento das questões relacionadas com a robótica, as trabalhadoras identificaram a menor mão-de-obra como o conceito que mais associam aos *robots* tradicionais, assim como a manipulação de cargas pesadas como a principal tarefa onde vêm os *robots* a ser usados – Figura 56.

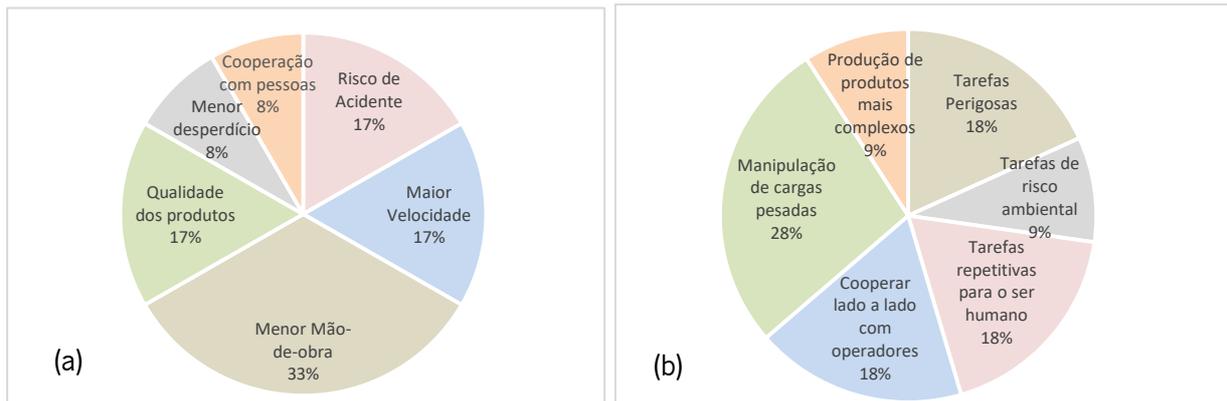


Figura 56 – Distribuição relativa das respostas acerca de (a) identificação dos conceitos mais associados à robótica tradicional e (b) aplicabilidade desta - PM

Todas as trabalhadoras demonstraram ter conhecimento de que recentemente tinha sido instalado um *cobot* na empresa, mas ainda não o tinham usado, pelo que não estavam familiarizadas com o mesmo. Quando questionadas a comparar os *robots* tradicionais e os colaborativos, os resultados da Figura 57 mostraram que duas delas não dispunham de opinião sobre o tema enquanto que as outras duas diversificavam as opiniões. Os *robots* colaborativos eram atribuídos às características de maior segurança e maior cooperação humano-máquina, enquanto que os *robots* tradicionais a uma maior velocidade e maior produtividade.



Figura 57 – Distribuição absoluta das respostas acerca das caraterísticas atribuídas aos robots tradicionais e colaborativos (n=4) - PM

Relativamente ao tipo de impacto que um *cobot* teria em diversos níveis (Figura 58), pode-se numa primeira fase verificar que a maioria das trabalhadoras associa as questões ligadas à robótica à redução dos postos de trabalhos humanos, por oposição à sua criação. Quanto às condições de trabalho e à produtividade, a opinião é unânime e positiva ao invés da segurança, custo e competitividade assegurada pelo mesmo.

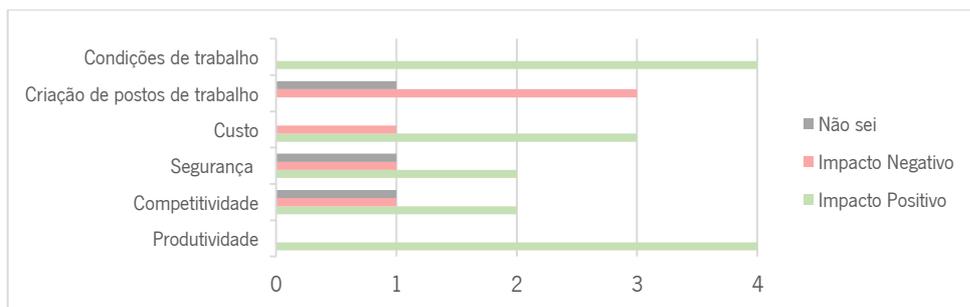


Figura 58 – Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um *cobot* (n=4)

Todas as trabalhadoras mostraram maior vontade em operar com um *robot* com barreiras físicas ao invés de sem barreiras/grades. Para a maior aceitação dos *cobots* na colaboração humano-*robot*, as pontuações dadas pertencem apenas aos níveis de concordância mais elevados (4 e 5), sendo os maiores requisitos o nível de formação e o treino para a colaboração, a forma de comunicar com o *cobot*, a segurança e a adequação do ritmo de trabalho do *robot* ao trabalho humano – Figura 59.

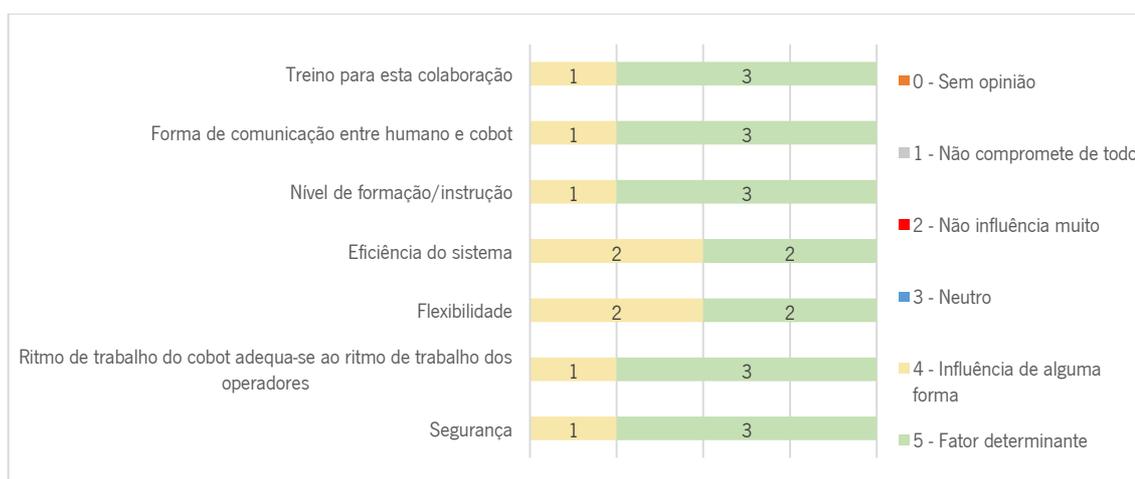


Figura 59- Distribuição absoluta das respostas acerca da importância de certos requisitos na aceitação para a colaboração entre humanos e *cobots* (n=4)

5.2.2. Perceções após a implementação

Para a segunda aplicação do questionário às trabalhadoras da pré-montagem, após o período de trabalho no novo posto, algumas das questões não foram novamente aplicadas dado não se constituírem questões pertinentes (C1, C2, C3, C4, C6 – Anexo 16) já que o uso do *cobot* não teria influência direta na resposta associada e/ou eram questões que levariam a uma resposta unânime e, como tal, não interessantes para o estudo (C4) ou pelo facto de não demonstrarem resultados distintos, isto é, não era uma mais valia tentar perceber a opinião das trabalhadoras sobre estas questões (C1, C2, C3 e C6).

Em termos globais, na categoria B, a distribuição da concordância com as questões variou, aumentando a resposta de concordância total (grau 5) na mesma medida que aumentaram as respostas de desacordo parcial e/ou total (grau 1 e 2, respetivamente). Embora de uma forma geral a percepção sobre a robótica continue a demonstrar-se positiva (concordância em 25% das questões de percepção positiva), a percepção negativa (concordância em 12,5% das questões de percepção negativa) tomou conta de algumas questões para as quais inicialmente as trabalhadoras não tinham opinião e/ou tinham opinião neutra, nomeadamente no aumento do stress associadas a tarefas compartilhadas com *robots* (Q10) e no aumento da produtividade associada à implementação da robótica (Q11) – Figura 60. A mudança de percepção para estas questões em concreto poderá ter a ver com o facto de o posto da pré-montagem ainda ser recente e das trabalhadoras ainda não se demonstrarem completamente à vontade na operação com o novo sistema, especialmente no facto de por vezes haverem falhas na automatização o que leva a ciclos consecutivos com falhas e com baixa produtividade face ao que seria esperado se a produção fosse só manual. Após a implementação do *cobot* todas as trabalhadoras demonstram uma posição unânime na possibilidade de partilha de tarefas entre Humanos e *cobots* (Q2), assim como concordam que incluir os *robots* no chão de fábrica melhora as condições de trabalho (Q3) ajudando a robótica a reduzir os esforços repetitivos e/ou monotonia dos postos de trabalho (Q7). Quanto à possibilidade do ser humano se poder sentir inseguro e ameaçado com os riscos da robótica (Q6) e o aumento de stress e ansiedade dos trabalhadores inerente à colaboração com *robots* (Q10), inicialmente todas estavam de acordo mas depois da implementação da célula de trabalho com o *cobot* a percepção mudou para uma discordância de de 3 das trabalhadoras sobre as afirmações.

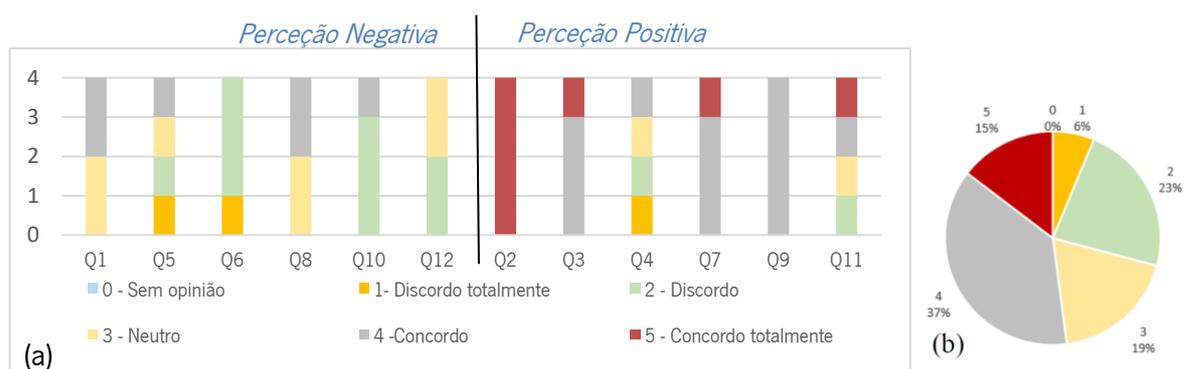


Figura 60 - Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=4) – 2ª aplicação na PM

Na categoria C, as questões acerca das características atribuídas aos *robots* tradicionais e colaborativos (C5 – Anexo 16) e da importância de certos requisitos na aceitação para a colaboração entre humanos e *cobots* (C8 – Anexo 16) não mostraram diferenças significativas nos resultados. Já o

impacto esperado para a utilização do *cobot* mostrou diferenças nos resultados em especial na opinião da criação de postos de trabalho. Enquanto na situação inicial 3 das 4 trabalhadoras pressupunham um impacto negativo para a criação dos postos de trabalho, atualmente apenas uma delas mantém a sua opinião. Na maioria das outras questões houve um aumento das respostas atribuídas ao impacto positivo na utilização dos *cobots* – Figura 61.

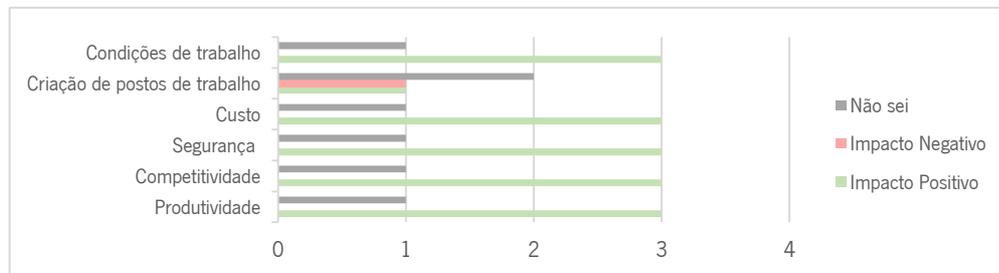


Figura 61 - Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um cobot (n=4) – 2ª aplicação na PM

No entendimento das trabalhadoras, a apreciação feita para o posto de trabalho novo seguiu os mesmos moldes que a avaliação feita anteriormente (descrita em 4.2.2). Assim, procedeu-se ao inquérito e comparação dos dados obtidos após a implementação da célula colaborativa com os resultados obtidos anteriormente no estudo de Colim et al. (2020). O método EWA envolveu a atribuição da escala de 1 a 4 aos símbolos previstos para a avaliação, onde a pontuação de 1 era atribuída a fatores com uma avaliação muito boa (++) e a pontuação de 4 a fatores que não estão nada bons (-). Para cada um dos parâmetros foi calculada a média e o desvio padrão das pontuações obtidas. Lembra-se que, embora inicialmente a população inquirida fosse de 8 pessoas, as novas opiniões foram apenas testadas às 4 trabalhadoras que puderam trabalhar no posto de trabalho colaborativo criado.

De uma forma geral, para os 11 fatores em análise (excluíram-se os fatores relacionados com condições ambientais, pois o local onde está o posto mantém-se e, por conseguinte, as condições), em 6 deles a média de respostas obtidas traduz uma melhor avaliação sobre o posto de trabalho criado com a robótica colaborativa. Atendendo às médias obtidas para cada fator (Figura 62), observa-se que o espaço de trabalho, as posturas e movimentos, o risco de acidente, o conteúdo/restritividade/repetitividade de trabalho e o nível de atenção requerido foram melhor avaliados após a instalação e uso da célula colaborativa. Tal se deve ao facto do posto ter sido redesenhado para satisfazer eficazmente as necessidades das trabalhadoras melhorando as suas posturas, bem como a exigência das tarefas mais minuciosas (aplicação de cola e fixação dos cubos) que, continuando a ser executadas de forma repetitiva, carecem de menos esforço físico e mental na sua execução.

Por outro lado, a possibilidade de comunicação entre colegas de trabalho e/ou pessoas externas ao posto é ainda classificada como muito má dada a localização do posto de trabalho junto a uma máquina muito ruidosa. No processo de tomada de decisões, o resultado pior obtido eventualmente poderá também estar associado ainda ao tempo reduzido de experiência com o sistema colaborativo nomeadamente em situações em que este não funciona como deve (empanca) e as trabalhadoras ainda não se encontram totalmente à vontade para contornar a situação.

Em todo o caso, sendo a amostra reduzida em comparação com inicialmente inquirida e a opinião ser subjetiva, há questões onde tal pode provocar pequenas diferenças, como é exemplo no caso das tarefas de elevação manual de cargas.

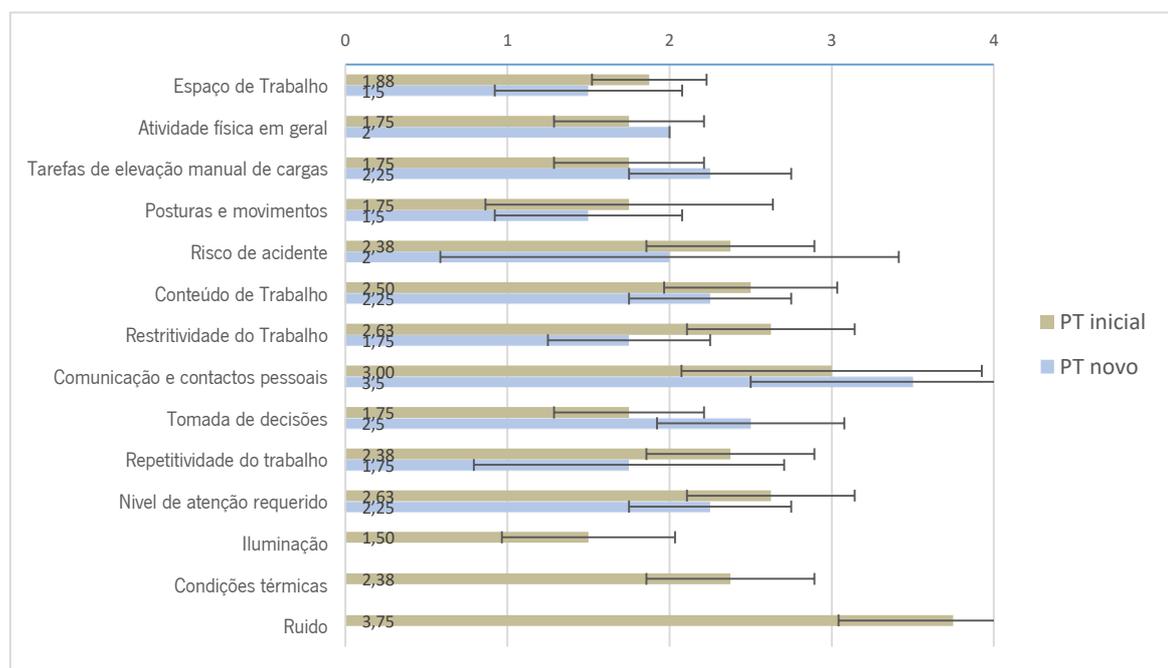


Figura 62 – Comparação entre a distribuição das médias das pontuações obtidas no método EWA entre a PM inicial e a PM colaborativa

A perceção de esforço para as novas tarefas da pré-montagem (Figura 63) mudou em comparação com o estudo prévio conduzido por Colim et al. (2020) (Figura 23) onde era a tarefa de aplicação de cola e a viragem da ripa aquelas que tinham uma pontuação maior (para $n=8$). Na situação atual ($n=4$), globalmente as pontuações aumentaram, não ultrapassando o nível 5 associada ao esforço de «um pouco de dificuldade». As tarefas de alcançar os cubos e a rotação da ripa no tabuleiro (no caso da ripa dupla) são aquelas que geram uma pontuação mais alta, o que significa mais esforço. Através do ajuste da bancada, as tarefas de alcance de ripas e a sua retirada do carrinho envolvem um esforço associado menor. Embora se tenham colocado blocos em cima da mesa para elevar as ripas e criar uma

folga por baixo que facilitava estas serem agarradas, o facto dos cubos serem colados por cima e da mesa ser ligeiramente inclinada faz com que alguma cola possa escorrer o que torna necessário desagregar as três ripas entre elas primeiro e agarrá-las em simultâneo. Pelo exposto, esta é uma característica que ainda pode melhorada. Contudo, é de realçar que o carater repetitivo das tarefas que aqui se executam contribuem para que o esforço acumulado ao longo do dia de trabalho seja maior.

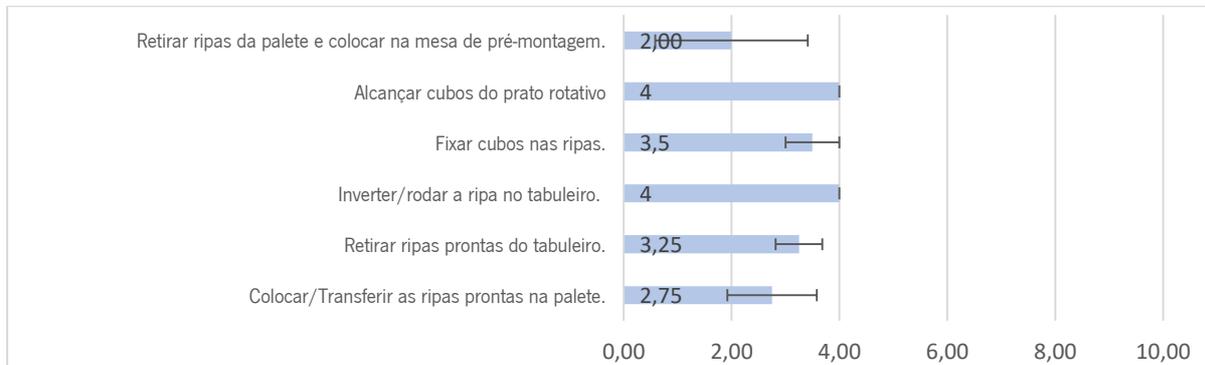


Figura 63 - Resultados da avaliação das tarefas da PM colaborativa quanto ao esforço percebido (n=4) (Fonte: Colim et al. (2020))

Por fim, na avaliação geral do posto de trabalho (Figura 64), muito embora as médias obtidas são inferiores às inicialmente determinadas, a opinião global do posto de trabalho é positiva e encarada como uma solução ergonómica adequada às trabalhadoras. Pelo facto de se retirar a tarefa de aplicação de cola, as tarefas da pré-montagem ficam mais fáceis, diminuindo o esforço musculoesquelético associado ao trabalho. Pelo redimensionamento do plano de trabalhos, as trabalhadoras verificaram que as suas posturas melhoraram não invalidando, no entanto, o facto de o posto de trabalho poder ser melhorado com a colocação de contra peças que facilitem a retirada das ripas.

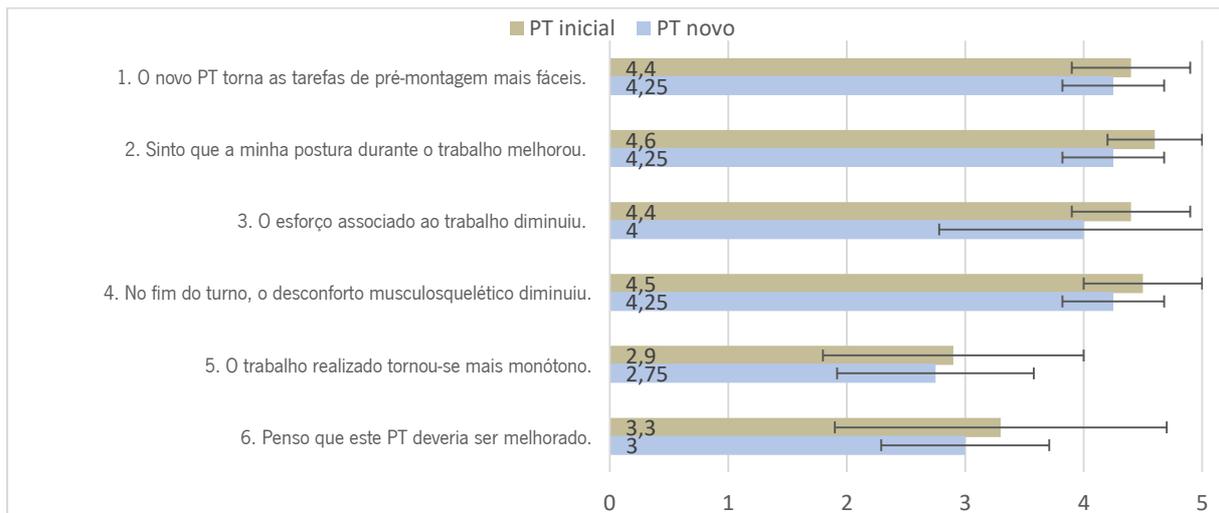


Figura 64 – Resultados da avaliação geral ao novo posto de PM colaborativa

5.3 Avaliação do impacto na produção

Face aos requisitos expectados inicialmente, a tarefa de aplicação de cola foi eliminada e foram tidas em consideração as medidas antropométricas para o dimensionamento adequado do posto de trabalho. Infortunadamente, a implementação de medidas corretivas para a minimização da exposição ao ruído e a diversificação do conteúdo de trabalho através da inclusão de tarefas diferentes não foi possível.

Tendo já sido feitos os devidos ajustes no posto de trabalho, procedeu-se ao estudo de tempos para as novas tarefas do posto da pré-montagem. Os novos elementos da operação encontram-se representados na Tabela 36.

Tabela 36 - Decomposição da atividade da nova pré-montagem em elementos

	Ripa Simples		Ripa Dupla	
	Trabalhadora 1	Trabalhadora 2	Trabalhadora 1	Trabalhadora 2
Elemento 1	Acionar sistema e pegar nas ripas	Acionar sistema e esperar pelas ripas	Acionar sistema e pegar nas ripas	Acionar sistema e esperar pelas ripas
Elemento 2	Colocar na mesa de trabalho	Ajudar a colocar na mesa	Colocar na mesa de trabalho	Ajudar a colocar na mesa
Elemento 3	Alcançar e fixar cubos	Alcançar e fixar cubos	Alcançar e fixar cubos (Total)	Alcançar e fixar cubos (Total)
Elemento 4	Espera pelo dispensador	Espera pelo dispensador	Espera pelo dispensador (Total)	Espera pelo dispensador (Total)
Elemento 5	Escrever anotação	Transferir ripas para a palete.	Virar	Virar
Elemento 6	Transferir ripas para a palete.		Escrever anotação	Transferir ripas para a palete.
Elemento 7			Transferir ripas para a palete.	

O estudo dos tempos seguiu os mesmos moldes das cronometragens anteriores (nível de confiança de, pelo menos, 90% e erro de 0,05). No Anexo 17 e 18 podem ser consultados os ajustamentos de dificuldade aplicados à nova pré-montagem assim como a folha de cálculo gerada, respetivamente. Se por um lado o elemento de esperar pelo dispensador pode ser positivo em termos ergonómicos pois traduz uma micropausa incluída no trabalho repetitivo, por outro lado não agrega valor ao processo. Por só depender da parte da automação e estando as trabalhadoras paradas nestes momentos, estas não tem qualquer tipo de desempenho nem dificuldades de trabalho a serem considerados e aplicados, razão pela qual o tempo observado corresponderá ao tempo normalizado.

No momento em que foi efetuado este estudo, ainda não estava definido qual seria o novo NPC para o processo, mas este iria ter por base o aumento do número de ciclos conseguidos através da redução do novo tempo de ciclo. Os resultados para os tempos normalizados de ciclo para a ripa simples e dupla encontram-se presentes nas Tabelas 37 e 38, respetivamente.

Tabela 37 - Parâmetros dos tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM nova) – RS

		<i>TO médio (seg)</i>	<i>FA médio</i>	<i>Ajustamentos (%)</i>	<i>FA ajustado</i>	<i>TN (Seg)</i>	<i>TN Ciclo (seg)</i>
Trabalhadora 1	Elemento 1	2,55	108	11	120	3,05	25,35
	Elemento 2	2,52	103	12	116	2,91	
	Elemento 3	10,39	94	12	105	10,92	
	Elemento 4	4,13	100	0	100	4,13	
	Elemento 5	1,30	104	4	108	1,41	
	Elemento 6	2,72	98	10	108	2,93	
Trabalhadora 2	Elemento 1	3,20	102	6	108	3,45	27,19
	Elemento 2	2,21	111	10	122	2,69	
	Elemento 3	12,75	103	12	116	14,74	
	Elemento 4	3,11	100	0	100	3,11	
	Elemento 5	2,76	105	10	116	3,19	

Tabela 38 - Parâmetros dos tempos normalizados dos elementos e de ciclo (PM nova) – RD

		<i>TO médio (seg)</i>	<i>FA médio</i>	<i>Ajustamentos (%)</i>	<i>FA ajustado</i>	<i>TN (seg)</i>	<i>TN Ciclo (Seg)</i>
Trabalhadora 1	Elemento 1	2,13	104	12	117	2,49	47,46
	Elemento 2	2,67	105	13	118	3,16	
	Elemento 3	18,28	101	12	113	20,72	
	Elemento 4	11,86	100	0	100	11,86	
	Elemento 5	3,98	102	12	114	4,54	
	Elemento 6	1,47	97	4	101	1,49	
	Elemento 7	2,71	106	11	118	3,21	
Trabalhadora 2	Elemento 1	2,50	102	6	108	2,70	46,16
	Elemento 2	2,59	102	10	112	2,91	
	Elemento 3	17,46	100	12	112	19,52	
	Elemento 4	13,25	100	0	100	13,25	
	Elemento 5	3,97	103	12	115	4,57	
	Elemento 6	2,87	101	11	112	3,22	

Como se observa, com o sistema colaborativo os tempos normalizados diminuíram em 3,6% e 7,6% para a ripa simples e dupla, respetivamente. É possível observar que a tarefa de “Alcançar e Fixar os cubos” (Elemento 3 em todos os casos), sendo a operação principal, é a que apresenta o maior tempo normalizado sendo sucedida pela “espera pelo dispensador”. Esta espera traduz intervalos de tempo entre os quais as trabalhadoras, tendo fixado um trio de cubos de forma mais breve, tem de aguardar que o dispensador traga o próximo trio (movimento ida e/ou volta) e/ou tem de aguardar que o prato rode para poder ser alcançado. Embora o dispensador esteja programado para demorar (aproximadamente) sempre o mesmo tempo, este valor temporal tem variações ligeiras. Contudo, para

a ripa simples o tempo estimado entre todos os alcances aos cubos e as respetivas esperas ronda os 15 segundos enquanto que na ripa dupla aproxima-se dos 30 segundos. O tempo de espera será tanto maior quanto menor for o tempo despendido a fixar os cubos na ripa e tal comprova-se com o facto da Trabalhadora 1 demorar menos a alcançar/fixar mas ter um tempo de espera maior, ao invés da trabalhadora 2 que tem menos tempos de espera por demorar mais na fixação. No caso da ripa dupla, tendo em vista a maximização do uso do automatismo e reduzir as esperas, o sistema deve ser novamente acionado antes de se proceder à viragem das ripas.

Importa referir que situações anómalas verificadas no decorrer da observação das filmagens não foram quantificadas dado serem situações ocasionais do processo. No entanto importa referir que como potencial de falha consta a falta de manutenção na *gripper* do *cobot* que leva a desordenar os cubos adjacentes aos cubos succionados num dado momento. Esta pequena falha tem grande repercussão num momento posterior pois os cubos que ficaram desordenados não conseguirão ser devidamente alinhados de novo no tapete rolante, o que faz com que na zona de afunilamento para a pega do dispensador, não se encontrem os 3 cubos dispostos lateralmente como deveria ser. O que sucede é que chega a ser aplicada cola, mas os cubos irão ser reencaminhados para uma caixa lateral já que o dispensador não os consegue agarrar.

Nos tempos da nova pré-montagem, as análises de Pareto permitiram distinguir as seguintes categorias com base na proporção de cada elemento:

- Ripa Simples: Classe A (Alcançar e Fixar os cubos, 16,7% dos elementos assume a responsabilidade sobre cerca de 50% do tempo normalizado de ciclo), Classe B (Espera pelo dispensador, acionar sistema e pegar nas ripas/esperar, 33,3% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 25,4% do tempo normalizado de ciclo) e Classe C (restantes elementos, 50% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 25,2% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 65;

- Ripa Dupla: Classe A (Alcançar e Fixar os cubos, 14,2% dos elementos assume a responsabilidade sobre cerca de 42,2% do tempo normalizado de ciclo), Classe B (Espera pelo dispensador e virar, 29% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 36,3% do tempo normalizado de ciclo) e Classe C (restantes elementos, 56,9% dos elementos assumem a responsabilidade sobre cerca de 21,5% do tempo normalizado de ciclo) – Figura 66.

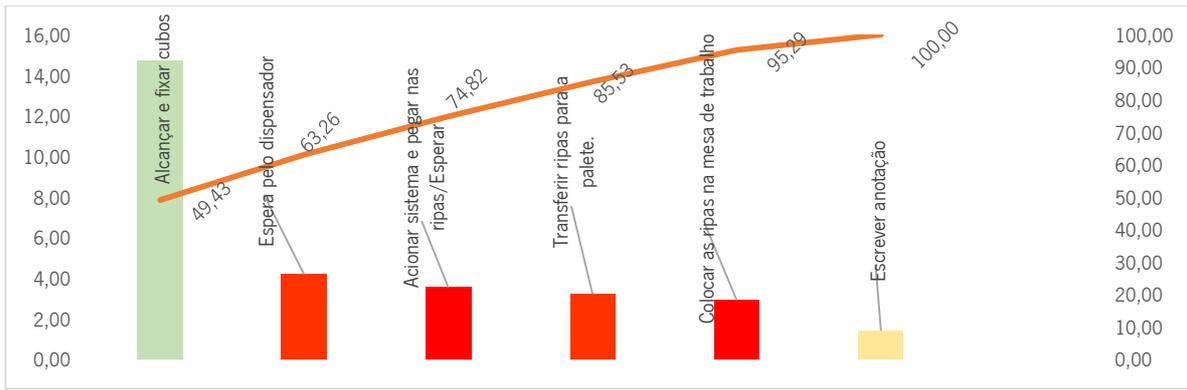


Figura 65 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Simples - PM nova

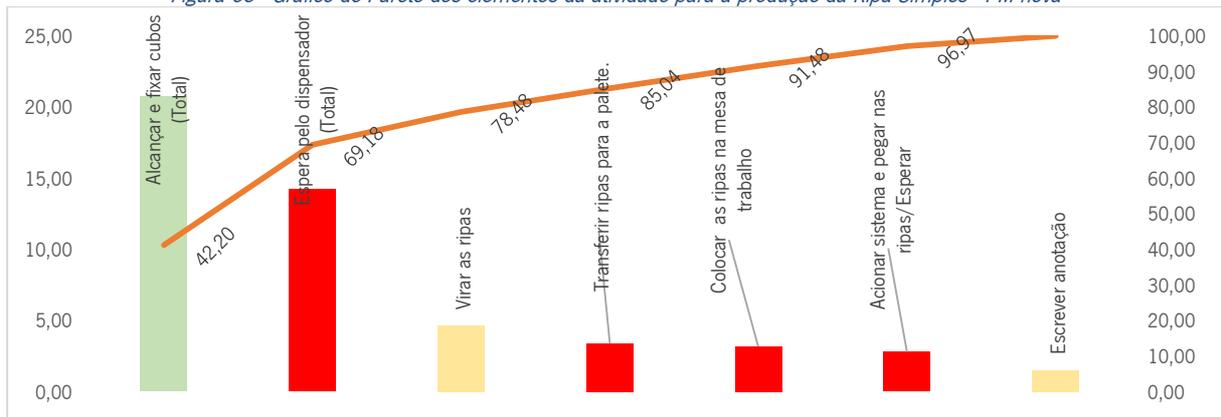


Figura 66 - Gráfico de Pareto dos elementos da atividade para a produção da Ripa Dupla - PM nova

Relativamente ao valor que os novos elementos da atividade agregam ao processo, a distribuição mudou aumentando a percentagem de valor do tempo de ciclo da ripa simples para 49% e diminuindo na ripa dupla para 42%.

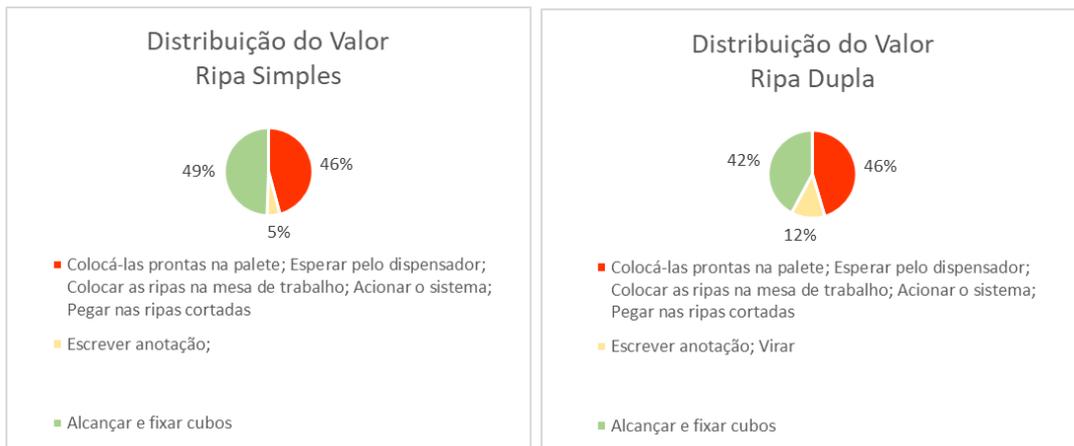


Figura 67 - Distribuição do valor com base no tempo normalizado dos elementos _ PM nova

Associados aos tempos normalizados serem inferiores, o funcionamento do posto é acompanhado de bastante tempo gasto para organização do espaço de trabalho, envolvendo-se trocas de paletes de produto acabado por *baseboards* novas, transporte de novas paletes de ripas (*input*),

enchimento da cuba de cola, endireitamento (paletização) dos packs de cubos e resolução técnica de questões que surgem associada ao sistema colaborativo. Todas estas ações são necessárias para o posto da pré-montagem funcionar mas, tendo de ser executadas pelas trabalhadoras da pré-montagem, traduz-se numa redução do tempo produtivo diário de forma exagerada.

Na Tabela 39 apresenta-se o balanço do tempo diário de atividades que não acrescentam valor.

Tabela 39 - Tempos não produtivos durante um dia de trabalho – PM nova

	Ripa Simples	Ripa Dupla
Tempo de arranque		4min45
Pausa almoço		30min
Intervalo manhã		5min
Início de palete (input)		5 min
Medição primeira ripa	8h Trabalho * 1 Ripa/h *30seg/ripa	
Limpeza		20min
Buscar novos packs de cubos	3min/deslocação *5,7 deslocações/dia	3min/deslocação *6,3 deslocações/dia
Paletizar, endireitar os packs cubos	1,5 min/pack * 11,4 packs/dia	1,5 min/pack * 12,7 packs/dia
Troca de palete	2,5 min/palete * 5 paletes/dia	2,5 min/palete * 5,6 paletes/dia
Fechar palete	16seg/palete*5 paletes/dia	16seg/palete*5,6 paletes/dia
Colocar fita entre andares	3 Colocações de fita/palete* 15seg/colocação* 5 paletes/dia	2 Colocações de fita/palete* 15seg/colocação* 5,6 paletes/dia
Encher cola na cuba	30 seg/troca* 1,55 paletes/troca * 5 paletes/dia	30 seg/troca* 1,55 paletes/troca * 5,6 paletes/dia
Comunicação	(20/10) 30min	
Tempo não produtivo	2,4h	2,62h
Tempo disponível total	5,46h	5,38h

A introdução de um trabalhador extra para estas tarefas seria uma possível solução para aumentar o tempo útil produtivo em que efetivamente são produzidas as ripas. Assumindo esse trabalhador extra a executar as tarefas de troca e fecho de paletes, alinhamento dos cubos e abastecimento do posto de trabalho com ripas/cubos e uma diminuição do tempo diário de resolução de problemas técnicos para 10min, verificar-se-ia um aumento a produção em 15% (+382,9 ripas simples/dia) e 17,4% (+256,7 ripas duplas/dia).

Incorporando-se as outras categorias de correções – Tabela 40 – observa-se que são as demoras inevitáveis associadas às tarefas supra mencionadas que ocupam a maior percentagem do tempo diário de produção.

Tabela 40 - Correções aplicáveis na pré-montagem nova

<i>Categoria da correção</i>	<i>Tipo de correção</i>	<i>% Aplicável</i>
Correção de Repouso Fixa	Fadiga	4,0%
	Necessidades pessoais	7,3%
Correção de Repouso Variável	-	Ripa Simples: 13,0% Ripa Dupla: 13,0% / 14,0% Consultar Anexo 9 (Separador 'Nova')
	Correção Especial	
	Arranque	1,0%
	Limpeza	4,2%
	Paragem	6,3%
	Controlo periódico	0,8%
Correção por demoras inevitáveis		RS: 10,88% RD: 11,97%

Face aos valores apresentados, na situação nova os tempos padrão dos elementos da pré-montagem estão tabelados seguidamente.

Tabela 41 - Tempos padrão (em segundos) dos elementos e de ciclo – PM nova

L	Ripa Simples		Ripa Dupla	
	<i>Trabalhadora 1</i>	<i>Trabalhadora 2</i>	<i>Trabalhadora 1</i>	<i>Trabalhadora 2</i>
Elemento 1	4,32	4,88	3,58	3,85
Elemento 2	4,12	3,80	4,55	4,15
Elemento 3	15,46	20,87	29,85	27,87
Elemento 4	5,84	4,41	17,08	18,91
Elemento 5	1,99	4,52	6,54	6,52
Elemento 6	4,15		2,14	4,64
Elemento 7			4,62	
T. Padrão	35,87	38,48	68,36	65,94

Outra variante do processo que se observou é relativa ao consumo de cola. Quando colocada manualmente com as pistolas, a quantidade de cola aplicada era a suficiente para promover a fixação mas variava entre os cubos. Já no novo sistema, a cola é aplicada de forma mais constante. Para se avaliar as diferenças entre ambas as aplicações, foram inicialmente pesados 12 cubos aleatórios e posteriormente aplicada cola equitativamente de ambas as formas (manual e automática). Embora as

colas sejam de tipos diferentes (em tubo e granulada), a densidade de ambas era de 1g/cm³. A Figura 68 apresenta-se os resultados obtidos.

	Automática	Manual
Peso médio cubo (g)	26,635	25,888
Peso médio cubo com cola (g)	26,766	26,073
Volume de cola por cubo (cm ³)	0,131	0,185
Nº cubos por palete (unid)	4320	
Volume gasto por palete (cm ³ /Palete)	565,92	799,2



Figura 68 - Comparação entre a aplicação de cola automática e manual

Apresentam-se seguidamente os resultados obtidos comparativamente à situação inicial exposta no capítulo 4.2.1.

Tabela 42 - Resultados comparativos da pré-montagem (RS- Ripa Simples, RD- Ripa Dupla)

	PM tradicional	PM colaborativa
Investimento (€)	90921,48€	
Área de Trabalho ocupada (m ²)	370 m ² (14,5 x 25,5m)	
Tempo diário produtivo (h)	RS: 5,96h RD: 5,93h	RS: 5,46h RD: 5,38h
Tempo Normalizado de ciclo (seg/trio de ripas)	RS: 28,38 seg RD: 51,46 seg	RS: 27,19 seg RD: 47,46 seg
Produção diária (ripas/tempo útil diário)	RS: 2268,1 r/d RD: 1244,5 r/d	RS: 2168,7 r/d RD: 1224,3 r/d
Produtividade por superfície (ripas/hora/m ²)	RS: 0,34 r/h/m ² RD: 0,19 r/h/m ²	RS: 0,36 r/h/m ² RD: 0,21 r/h/m ²
Consumo de cola (cm ³ /dia)	RS: 2517,56 cm ³ /dia RD: 2717,89 cm ³ /dia	RS: 1704,63 cm ³ /dia RD: 1924,56 cm ³ /dia
Valor das tarefas (% V-% nVN- % nV)	RS: 46-5-49 % RD: 47-11-42 %	RS: 49-5-46 % RD: 42-12-46 %

Através da análise da Tabela 42, em termos de tempo normalizado de ciclo observam-se ligeiras melhorias, sendo a diferença mais notória no tempo normalizado para a ripa dupla com uma diferença de 4 segundos. À semelhança dos resultados obtidos no estudo de El Makrini et al. (2018), a aplicação

automática da cola permite poupar diariamente o consumo desta nas ripas simples e duplas em cerca de 32% e 30%, respetivamente. Mesmo a área de trabalho ocupada tendo sido mantida, embora agora haja somente um tabuleiro operacional, a capacidade produtiva manter-se-á igual e/ou superior se a empresa implementar medidas que façam aumentar o tempo diário disponível para a produção, como por exemplo através da alocação em tempo parcial de um terceiro colaborador no posto para a parte de trocas logísticas de paletes, como referido anteriormente.

5.4 Avaliação ergonómica

O ponto de partida para a criação do posto de trabalho foi melhorar as condições de trabalho para as Trabalhadoras deste posto. Qualquer mudança ou ajuste que fosse feito no posto de trabalho teria de se demonstrar vantajoso ao nível ergonómico. Assim, foi feita uma avaliação às duas trabalhadoras em 57 posturas - Figura 69 - adquiridas na execução das novas tarefas. A folha de registo e cálculo da metodologia RULA para a nova pré-montagem encontra-se presente no Anexo 19.



Figura 69 – Exemplo de posturas adotadas na PM colaborativa nos elementos de (a) Virar a ripa, (b) Retirar as ripas da mesa e (c) Acionar o sistema

Por forma a comparar a avaliação RULA da atividade da pré-montagem de cada uma das ripas na situação tradicional e colaborativa, foi calculado o RULA ponderado. Para o obter, e dado existirem sempre dois valores normalizados para cada elemento, resultado de um mesmo elemento ser executado por duas trabalhadoras, para efeitos do cálculo considerou-se o maior dos dois valores como o representativo do tempo despendido nesse elemento.

Na Figura 70 apresentam-se os resultados obtidos com base na média e desvio padrão (DP).

PM inicial				PM nova			
Ripa Simples				Ripa Simples			
	TN maior	Média RULA	DP		TN maior	Média RULA	DP
Fixar os Cubos (Trio 1/2/3)	8,82	4,4	0,5	Alcançar e fixar cubos	14,74	3,9	0,8
Selecionar os cubos da caixa	7,13	3,6	0,9	Espera pelo dispensador	4,19	2,0	0,0
Aplicar cola para/os cubos	4,98	3,0	0,0	Acionar sistema e pegar nas ripas/Esperar	3,45	2,5	0,5
Colocar as ripas prontas na palete	2,78	3,8	0,9	Transferir ripas para a palete.	3,19	4,1	1,2
Pegar nas ripas cortadas/Esperar	2,39	3,2	0,4	Colocar as ripas na mesa de trabalho	2,91	3,0	0,0
Colocar as ripas no suporte + Ajustar/Ajudar	2,12	3,2	0,4	Escrever anotação	1,41	2,0	0,0
Escrever anotação	1,41	2,0	0,0				3,32
			RULA ponderado				
			3,62				

Ripa Dupla				Ripa Dupla			
	TN maior	Média RULA	DP		TN maior	Média RULA	DP
Fixar os Cubos (Trio 1/2/3)- C	8,09	4,4	0,5	Alcançar e fixar cubos (Total)	20,72	3,9	0,8
Fixar os Cubos (Trio 1/2/3) - B	7,53	4,4	0,5	Espera pelo dispensador (Total)	14,22	2,0	0,0
Selecionar os cubos da caixa - B	7,15	3,6	0,9	Virar	4,57	3,1	0,6
Selecionar os cubos da caixa - C	7,11	3,6	0,9	Transferir ripas para a palete.	3,22	4,1	1,2
Aplicar cola para/os cubos - C	5,03	3,0	0,0	Colocar as ripas na mesa de trabalho	3,16	3,0	0,0
Aplicar cola para/os cubos - B	4,79	3,0	0,0	Acionar sistema e pegar nas ripas/Esperar	2,70	2,5	0,5
Colocar as ripas prontas na palete	4,44	3,8	0,9	Escrever anotação	1,49	2,0	0,0
Virar a ripa	3,83	3,0	0,0				3,11
Pegar nas ripas cortadas/Esperar	2,25	3,2	0,4				
Colocar as ripas no suporte + Ajustar / Ajudar	1,68	3,2	0,4				
Escrever anotação - lado baixo	1,26	2,0	0,0				
Escrever anotação - lado cima	1,10	2,0	0,0				
			RULA ponderado				
			3,60				

Figura 70 - Análise comparativa do RULA ponderado entre a PM inicial e a PM nova

De uma pontuação RULA ponderado de 3,62 e 3,60 para a ripa simples e dupla, respetivamente, a nova solução permite que estes valores diminuam para 3,32 e 3,11, traduzindo um decréscimo de 8,3% e 13,6%. Embora esta pontuação tenha decrescido, o posto da pré-montagem ainda apresenta risco. As principais tarefas que exigem uma atenção maior e a necessidade de melhoria num futuro próximo são a transferência das ripas prontas para a palete assim como o alcance e fixação dos cubos. Neste último caso a posturas encontradas que merecem atenção não dependem diretamente do posto de trabalho nem da falta de espaço para movimentações mas sim da forma como a própria trabalhadora executa a tarefa.

Os resultados obtidos para este estudo de caso são semelhantes aos dos casos de estudos mencionados no capítulo 2.4.3 acerca da aplicação de robótica na melhoria das condições ergonómicas de trabalho. Para além da criação de uma estação de trabalho com o dimensionamento antropométrico adequado (tal como em Kushwaha & Kane (2016)), pode-se afirmar que a robótica efetivamente ajuda a reduzir a sobrecarga das tarefas manuais da pré-montagem, estando os resultados RULA em concordância com a percepção das trabalhadoras sobre o novo posto, tal como verificado no estudo realizado por Colim et al. (2020). O facto de as trabalhadoras terem sido consideradas em todo o processo fez aumentar a sua autoestima e o seu envolvimento na criação do posto colaborativo, aumentado assim a sua satisfação e motivação na aceitação desta nova realidade laboral. Importa também referir que as fases de desenvolvimento da solução colaborativa a partir de um posto de trabalho já existente tendo em conta a melhoria das condições ergonómicas foram bastantes semelhantes às de

Gualtieri et al. (2020) e efetivamente demonstram-se como boas diretrizes de análise e desenvolvimento do processo de investigação.

Embora tenha decrescido o valor do RULA ponderado para as referências em questão, importa referir que o posto ainda apresenta riscos nomeadamente a sua repetitividade de tarefas pelo que a reorganização do conteúdo de trabalho seria importante de se reavaliar.

5.5 Influência na montagem vertical

A pré-montagem surgiu na empresa com dois objetivos: acomodar trabalhadoras com situações de lesões musculoesqueléticas e ser um complemento à montagem vertical de *frames* para a referência A1. Como abordado no capítulo 4.2.2, existem dois tipos de montagem decorrentes do uso/não uso da pré-montagem e importa perceber, além da produção, se em termos ergonómicos expõe mais as trabalhadoras da montagem a fatores de risco causando a sua sobrecarga. Como fatores de risco para a montagem consideram-se aplicações de cola com a pistola, manipulações e movimentações de materiais acima do nível dos ombros, cargas das ripas manipuladas e repetitividade das tarefas.

Por forma a comparar a avaliação RULA da atividade montagem final (com auxílio de ripas pré-feitas) e da montagem completa da *frame* A1 foi determinado o RULA ponderado. Tal avaliação contou com a observação de posturas para as 8 trabalhadoras mencionadas nos estudos das montagens, num total de 73 posturas para cada tipo de montagem. Na Figura 71 apresentam-se algumas das posturas praticadas em cada um dos casos.

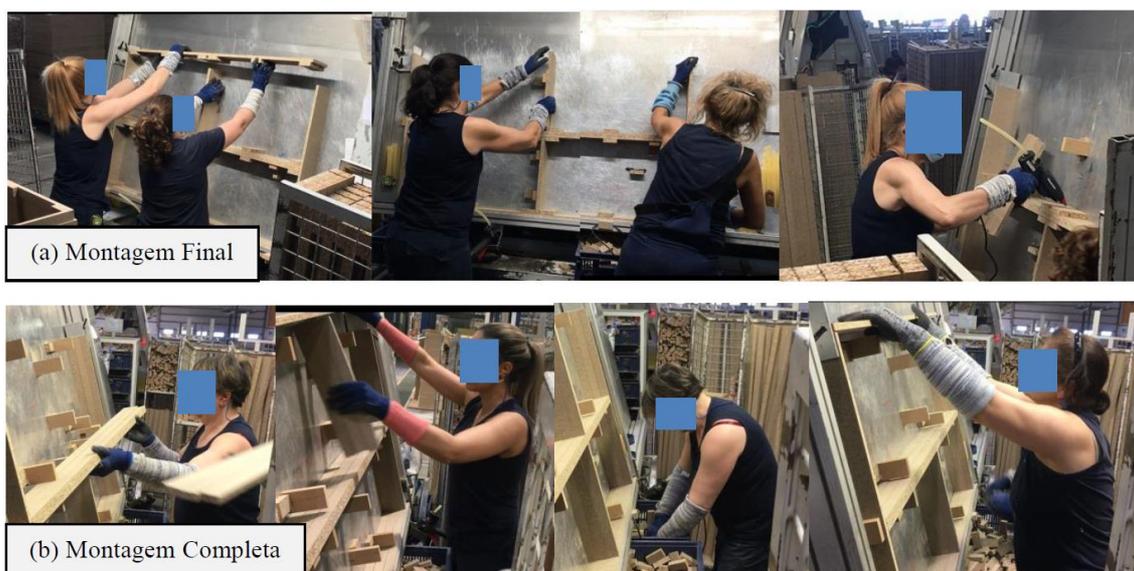


Figura 71 – Exemplos de posturas adotadas na (a) Montagem Final e (b) Montagem completa

Para o obter, e dado existirem sempre quatro valores normalizados para cada elemento do mesmo tipo de montagens, para efeitos de tempo normalizado de um dado elemento considerou-se a média entre o maior observado de cada duos. A folha de cálculo da avaliação RULA concretizada para estes postos de trabalho encontra-se presente no Anexo 20. Os resultados para os dois tipos de montagem apresentam-se na Figura 72.

	Montagem Final				Montagem Completa		
	Posturas das Trabalhadoras 7,8,9 e 10				Posturas das Trabalhadoras 3,4,5 e 6		
	TN médio	Média RULA	DP		TN médio	Média RULA	DP
Pegar na ripa simples	6,17	3,0	0,0	Pegar na ripa fina	4,52	3,0	0,0
Fixar a ripa simples (baixo) no tabuleiro	3,31	3,2	0,4	Colocar a ripa fina (baixo) no tabuleiro	3,70	3,0	0,0
Fixar a ripa simples (cima) no tabuleiro	7,51	4,3	1,3	Colocar a ripa fina (cima) no tabuleiro	3,88	5,0	1,4
Pegar na ripa lateral	2,74	3,7	0,6	Pegar na ripa lateral	2,49	3,5	0,7
Fixar a ripa lateral no tabuleiro	6,70	3,0	0,0	Colocar a ripa lateral no tabuleiro	2,28	3,0	0,0
Pegar na ripa dupla	3,09	4,5	1,0	Pegar na ripa grossa	2,65	3,7	0,6
Fixar a ripa dupla no tabuleiro	5,33	4,0	1,4	Colocar a ripa grossa no tabuleiro	4,72	3,3	0,5
Pegar na ripa central	5,12	3,3	0,5	Pegar na ripa central	3,93	4,3	1,5
Fixar a ripa central (baixo) no tabuleiro	4,93	3,0	0,0	Colocar a ripa central (baixo) no tabuleiro	2,19	3,0	0,0
Fixar a ripa central (cima) no tabuleiro	3,94	3,0	0,0	Colocar a ripa central (cima) no tabuleiro	2,65	3,5	0,7
Escrever anotação	1,32	3,3	0,5	Escrever anotação	1,51	2,5	0,6
Aplicar cola	14,94	4,0	0,5	Fixar os cubos (total)	35,75	4,2	1,2
Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	7,65	4,2	1,1	Selecionar os cubos	33,71	4,0	0,6
		Rula ponderado	3,65	Aplicar cola (total)	22,86	3,5	1,0
				Colocar as <i>frames</i> prontas na palete	10,38	4,6	1,6
							3,90

Figura 72 - Análise comparativa do RULA ponderado entre a MF e MC

Através da observação dos resultados da aplicação do RULA, verifica-se que no processo geral o uso das ripas pré-montadas faz diminuir em 6,4% a pontuação do risco associado a cada elemento. Apesar da queixa de algumas trabalhadoras que não simpatizam com as ripas pré feitas por serem mais pesadas, na maioria dos elementos o peso destas não prejudica as posturas. Por outro lado, as trabalhadoras ressaltam a mais-valia de se usar bastantes menos vezes a pistola de cola o que reduz a sobrecarga ao nível do pulso ao longo de um dia de trabalho.

Por fim salienta-se que muitas das manipulações acima dos ombros ocorrem não só na colocação/fixação de ripas/cubos, mas também no alcance e transporte das ripas do carrinho. No caso da montagem final, como as ripas de maior dimensão acabam por ter uma estrutura mais delicada, o seu indevido transporte e alcance pode provocar a descolagem dos cubos. Como tal, estas ripas pré-montadas (em especial as ripas duplas pois não possuem nenhuma margem entre os cubos mais externos e as faces externas das ripas grossas) devem numa primeira fase ser ligeiramente elevadas acima do nível do carrinho para evitar que batam contra qualquer obstáculo e só depois rodadas 90° para a posição horizontal para a sua colocação no tabuleiro.

Para um mesmo elemento, o que torna as pontuações mais variáveis são os hábitos de trabalho de cada uma das trabalhadoras que ao longo do tempo mecanizam os movimentos que tem de executar e acabam por nem sempre os fazer da forma mais adequada e segura para a sua saúde, mitigando-se

esta situação através da padronização do trabalho e dada formação. A título de exemplo indicam-se duas situações onde se verifica algum descuido:

- Acontecimentos com potencial de distração fora do posto de trabalho levam as trabalhadoras a rodarem o pescoço enquanto alcançam ripas e/ou estas apenas rodam o tronco e pescoço sem saírem do lugar para as alcançar;

- Na fixação de cubos/ripas e aplicação de cola onde mantêm o pescoço inclinado lateralmente e/ou para trás para ver com detalhe o sítio onde estão a operar, podendo isto ser evitado se elas se movem e orientassem convenientemente para a zona em que operam num dado momento.

Embora esta pontuação tenha decrescido, ambas as condições de montagem ainda apresentam risco. As principais tarefas de ambas as montagens que exigem uma atenção maior e a necessidade de melhoria num futuro próximo são as atividades executadas acima da altura dos ombros (colocação das ripas finas/simples, aplicação de cola e fixação de cubos na parte superior) e a colocação das *frames* prontas na palete. Adicionalmente a disposição das ripas no carrinho deveria ser melhorada, por forma a diminuir a exposição das trabalhadoras ao fatores de risco subjacentes a cada tarefa.

Na Tabela 43 sintetiza-se a comparação feita entre ambos os tipos de montagem. Seguidamente, tecem-se considerações sobre os parâmetros comparativos:

- A definição do tempo normalizado de ciclo consta na média dos maiores valores observados entre os duos de trabalhadoras;

- Um ponto de cola é definido como cada aplicação unitária de cola num cubo e/ou ripa;

- Uma manipulação acima dos ombros reflete cada movimentação que uma dada trabalhadora faz acima da altura dos seus ombros, seja esta no alcance das ripas do carrinho, na colagem de cubos numa região superior, na (ajuda) fixação das ripas e na descolagem das *frames* entre si antes do seu transporte para a palete ou a própria deposição quando esta já está mais cheia;

- O peso das ripas manipuladas é atribuído às cargas das ripas onde se verificam diferenças no decorrer das montagens, sendo estas da ripa fina/simples, ripa grossa/dupla referentes à montagem completa e final, respetivamente;

- Os valores apresentados representam o total dos parâmetros comparativos observados para ambas as trabalhadoras;

- A contabilização do tempo necessário de pré-montagem para um ciclo de montagem conta com a inclusão de dois ciclos de produção de ripas simples e um de ripas duplas com base nos valores do tempo normalizado da Tabela 42.

Tabela 43 - Resultados comparativos da montagem

	Montagem Final	Montagem Completa
Tempo Normalizado de ciclo (seg/trio de <i>frames</i>)	58,35 (+ 101,8 da PM)	116,86
NPC programado / praticado (<i>frames</i> /hora/trabalhadora)	70 / 92,5	40 / 46,2
Produção de paletes por ciclo (Paletes/hora/trabalhadora)	2,43	1,22
Pontos de cola (unid)	30	72
Manipulações acima dos ombros (unid)	Fixação de ripas: 6 Alcance de ripas: 1 Aplicação de cola: 1 Descolagem: 2	Fixação de cubos: 12 Alcance de ripas: 1 Aplicação de cola: 6 Descolagem: 2
Peso das ripas manipuladas (RS/RF- RD/RG kg)	1,62 kg - 3,34 kg	1,16 kg - 2,4 kg
Consumo de cola (cm ³ / Palete)	70,3 cm ³ /Palete (+ 119,5 da PM)	168,72 cm ³ /Palete
Valor das tarefas (% V-% nVN- % nV)	64,5%-2,0%-33,5%	43%-1%-56%
Rula Ponderado	3,65	3,90

Expostos todos estes fatores, pode-se concluir que a pré-montagem também traduz uma melhoria nas condições ergonômicas do posto de trabalho da montagem vertical de *frames* para a referência A1 pela redução da exposição a fatores de risco, como também em termos produtivos com um incremento de aproximadamente 50% em unidades produzidas por hora.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS – ESTUDO DE CASO 2

6.1 Comparação entre secções

Após o estudo individual dos postos de trabalho, encontra-se na Tabela 44 a comparação entre os postos de trabalho face aos resultados obtidos baseados em aspetos ergonómicos e sob a perspetiva da robótica. Esta comparação foi feita de forma conjunta com o DTx e empresa cujo objetivo principal era perceber onde se poderia implementar na empresa um outro posto de trabalho com robótica colaborativa.

O posto da montagem é um posto com maior diversidade de tarefas onde as trabalhadoras estão expostas a consideravelmente mais fatores de risco e que encontra limitações no tocante à aplicação da produção em duplo a todas as referências de *frames* existentes. Por oposição, na *Cold Press* as tarefas são mais resumidas e o tempo de ciclo bastante menor, mas onde a implementação da produção em duplo poderá agravar os fatores de risco e aumentar a propensão para LMERT.

Se por um lado, os desafios para o sistema colaborativo são mais interessantes na *Cold Press* pois permitem uma maior interação entre humano e *cobot*, por outro, na montagem, em termos ergonómicos eventualmente o benefício seria maior. Em ambos os casos, a conceção do posto de trabalho bem como os materiais que são manipulados no decorrer das tarefas assumem-se como os principais desafios na conceção da solução.

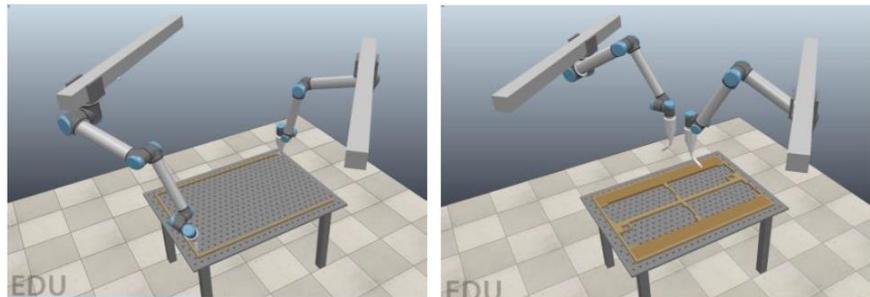
Tabela 44 - Análise comparativa entre a montagem manual (gama B) e a Cold Press

	Montagem da gama B	Cold Press
<i>Tipo de tarefas</i>	Alcance de ripas e cubos, fixação de cubos, aplicação de cola e manuseamento de <i>frames</i> (15-18 elementos)	Alinhamento, alcance e manuseamento de <i>frames</i> (3 elementos)
<i>Tempo de ciclo</i>	43,4 – 81,7 segundos	11,68 segundos
<i>Fatores de risco</i>	Frequência; Diferentes posturas inadequadas (flexão do pescoço, abdução dos braços, braços elevados acima dos ombros, flexão do tronco, etc.); Ações repetitivas com pistola de cola; Queimaduras; Manuseamento de materiais achatados; Design inadequado do posto de trabalho	Alta frequência; Torção e desvio do tronco; Manuseamento de materiais achatados
<i>Avaliação RULA</i>	6 (média/ciclo)	5 (média/ciclo)
<i>Limitações</i>	A produção em duplo não irá ser possível para todas as referências	A produção em duplo irá aumentar o risco para as LMERTs (a confirmar); Aumento da dificuldade de alinhamento de <i>frames</i> e de manuseamento destas
<i>Potencial de HRC</i>	Co manipulação Plano de tarefas compartilhado	
<i>Desafios para a Ergonomia</i>	Eliminação da tarefa de 'aplicação de cola'; Correção postural; Suportar o manuseamento de cargas	Suportar o manuseamento de cargas
<i>Desafios para a Robótica</i>	Visão computacional - monitorização da área de trabalho, deteção e rastreamento de objetos; Arquitetura cognitiva – compreender as ações / intenções do trabalhador; Planeamento do movimento com consciência humana; Segurar um conjunto de ripas de maneira ordenada; Segurar e libertar um conjunto de <i>frames</i> acabadas por co manipulação.	Segurar duas placas simultaneamente por co manipulação
<i>Riscos para a Robótica</i>	Cadência temporal da tarefa; Problemas de segurança, com uma ferramenta de cola quente trabalhando na área de trabalho do operador	Cadência temporal da tarefa

6.2 Simulações dos postos de trabalho

Para este projeto os responsáveis da empresa estabeleceram a premissa de passar a produzir em duplo as *frames*, independentemente do posto de trabalho envolvido, tendo por base as referências de maior tamanho, expostas no capítulo 4.3. Para o posto da montagem a solução criada visava aumentar a interação nas tarefas executadas pelas trabalhadoras e o *cobot*. Assim, esta solução englobava a remodelação da forma do tabuleiro passando este a dispor-se no plano horizontal, de acordo com as medidas antropométricas para a população feminina. A nível ergonómico estimava-se amenizar os fatores de risco através da redução/eliminação das operações acima no nível dos ombros bem como da tarefa de aplicação de cola. O novo tabuleiro de montagem, tendo capacidade para produzir as referências em análise em duplo, disporia de um sistema que facilitava a retirada das *frames* prontas da mesa de trabalho, sem exigir a sobrecarga ao nível dos ombros das operadoras. Nesta solução colaborativa, o *cobot* iria ser responsável pela aplicação da cola diretamente nos pontos de cola exigidos para cada uma das referências aumentando assim a interação e contacto entre esta colaboração. Na Figura 73 encontra-se a simulação de duas soluções colaborativas apresentadas à empresa.

Solução 1:
2 Cobots UR10e



Solução 2:
1 Cobot UR10e

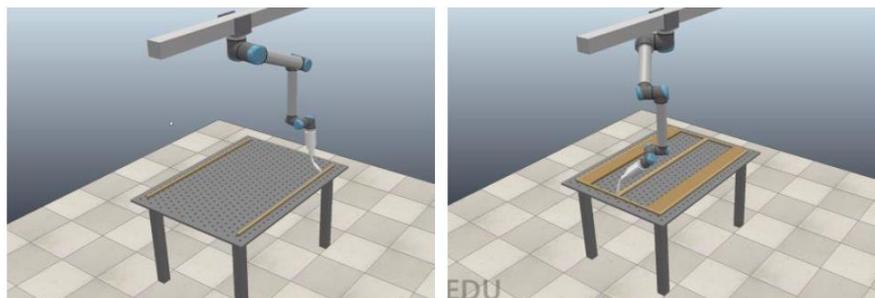
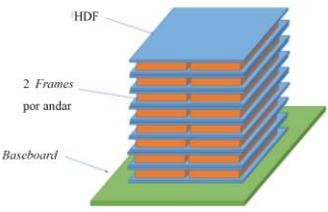
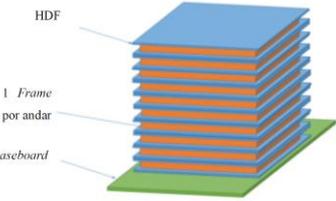
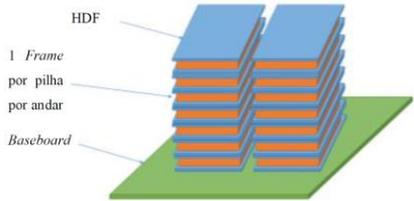


Figura 73 - Proposta de soluções colaborativas para o posto da montagem

Para o posto de trabalho de *Cold Press*, o objetivo passava pelo estudo e análise de uma solução para um sistema de produção em duplo onde passariam a ser empilhadas o dobro de *frames* em simultâneo por ciclo. Embora o sistema pudesse ter diferentes variantes conforme a dimensão da referência de *frame* (Tabela 45), este ia ser estudado para ser implementado, acima de tudo, na manipulação de duas referências de maior tamanho da gama B, representadas na Figura 48, que eram inviáveis de serem construídas em duplo nos tabuleiros verticais dada a sua dimensão e peso. Em

algumas das soluções as placas de HDF intercaladas iriam aumentar de tamanho por forma a cobrir as duas *frames* lateralmente dispostas em cada andar, sendo este conjunto cortado posteriormente. A caracterização das *frames* com base na sua dimensão, tamanho da *baseboard*, altura da palete (conjunto de *frames* e placas HDF) com/sem *baseboard*, número de pessoas na linha e NPC encontram-se presentes no Anexo 21.

Tabela 45 - Variantes da produção em duplo no Cold Press

Variante	Representação	Descrição
<p>1</p> <p>2 Colunas numa baseboard</p>	<p>HDF + <i>Frame</i> + <i>Frame</i> + HDF * 1</p> 	<p>As <i>frames</i> produzidas de forma simples serão dispostas lateralmente e cobertas por uma única placa de HDF de maior dimensão. Será esta a abordagem ao foco do estudo.</p>
<p>1</p> <p>1 Coluna numa baseboard</p>	<p>HDF + <i>Frame</i> + HDF * 1</p> 	<p>As <i>frames</i> produzidas de forma dupla serão dispostas lateralmente e cobertas por uma única placa de HDF de maior dimensão.</p> <p>Aplicabilidade: Referências B2 e A1 em produção dupla, entre outras</p>
<p>2</p> <p>2 Colunas numa baseboard</p>	<p>(HDF + <i>Frame</i> + HDF) * 2</p> 	<p>As <i>frames</i> produzidas de forma dupla serão dispostas em duas pilhas tendo cada uma destas a respetiva cobertura pela placa de HDF.</p> <p>Aplicabilidade: Referências descritas no Anexo 13.</p>

Feita a análise, a solução passava pelo uso do *cobot* na manipulação parcial ou total dos *inputs* do posto de trabalho (*frames* e placas HDF) aumentando a entreaajuda entre o *cobot* e o(s) trabalhador(es). As soluções propostas foram diversificadas abrangendo situações de produção dupla, produção simples, intervenção de apenas um trabalhador e/ou inclusão de dois *cobots*. Como regra geral, o *cobot* iria ser responsável por colocar com ou sem ajuda as *frames* e/ou placas de HDF. Em qualquer um dos casos, a sua integração constava vários desafios, nomeadamente:

- A opção do *cobot* colocar as placas de HDF sozinho não é viável dada a espessura destas não ser suficiente para lhes conferir estabilidade na pega (inviabilidade de uma *gripper* por pega) e pelo facto de terem cola, o que comprometia a pega destas (inviabilidade de uma *gripper* com sistema de vácuo);

- Quando programado para agarrar as *frames* e colocá-las na mesa sozinho, o *cobot* necessitaria de ser reprogramado a cada *frame* dada a geometria de cada uma das referências nem sempre dispor do ponto de pega no mesmo local.

Para efeitos desta dissertação abordar-se-á a solução que suscitou maior interesse pelos responsáveis da empresa, estando todavia ainda a ser estudada. A sua simulação está representada na Figura 74.

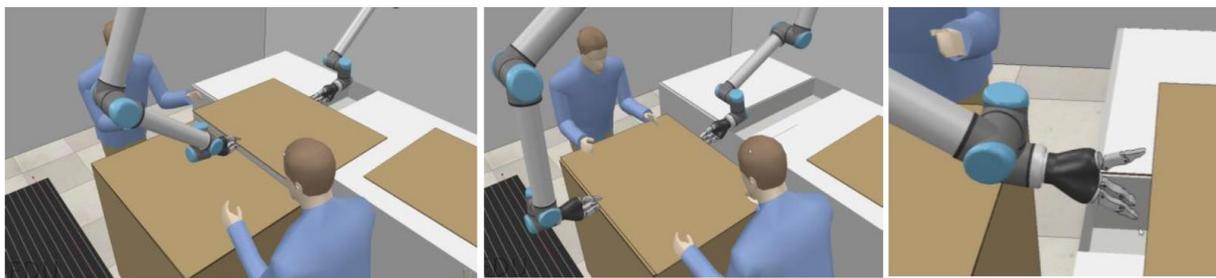


Figura 74 - Proposta de soluções colaborativas para o posto de Cold Press

Nesta solução, manter-se-iam as duas trabalhadoras do posto e introduzir-se-iam dois *cobots* no transporte das placas de HDF. Pela questão da estabilidade acima mencionada, o facto de existirem dois *cobots* dispostos lateralmente com a função equivalente a pegar com as pontas dos dedos, permite manter a estabilidade das peças ao longo do trajeto, sendo a função das trabalhadoras apenas certificarem-se que as placas ficam alocadas no sítio devido. Esta solução pode ser implementada tanto com a produção simples na *Cold Press* como dupla, diferenciando-se estas através do tempo necessário para a introdução de duas *frames* e do tamanho das placas de HDF.

6.3 Perceções das trabalhadoras das secções

Como referido anteriormente, também para estas duas secções de trabalho importou perceber qual era a perceção das trabalhadoras acerca da influência da robótica na produção. O questionário (categorias A a C) foi assim aplicado a um total de 10 trabalhadoras, sendo 4 da montagem e 6 da secção da Cold Press. A idade das trabalhadoras era de $43 \pm 10,68$ anos e a sua antiguidade nos postos de trabalho de $9,5 \pm 3,13$ anos. Embora nem toda a população inquirida apresentasse lesões, as lesões musculoesqueléticas existentes eram a síndrome do túnel cárpico ($n=3/10$), tendinites ($n=2/10$) e hérnia discal ($n=1/10$), sendo as regiões corporais mais afetadas os ombros, pulsos e costas.

Os resultados para a categoria B mostraram que as trabalhadoras tinham uma percepção bastante idêntica acerca da influência da robótica em meio industrial, com um nível 4/5 de concordância em 20,00% e 28,33% de respostas com percepção negativa e positiva, respetivamente. A afirmação que gerou mais concordância (quantidade de respostas do nível 4/5 superior a 50% dos resultados) refere-se à possibilidade dos *robots* poderem provocar acidentes e ferimentos aos trabalhadores, quando mal usados (Q12). Por outro lado, quando questionadas sobre a criação de postos de trabalho aquando da implementação da robótica num dado posto, mais de 50% das inquiridas demonstraram numa opinião neutra (Q4).

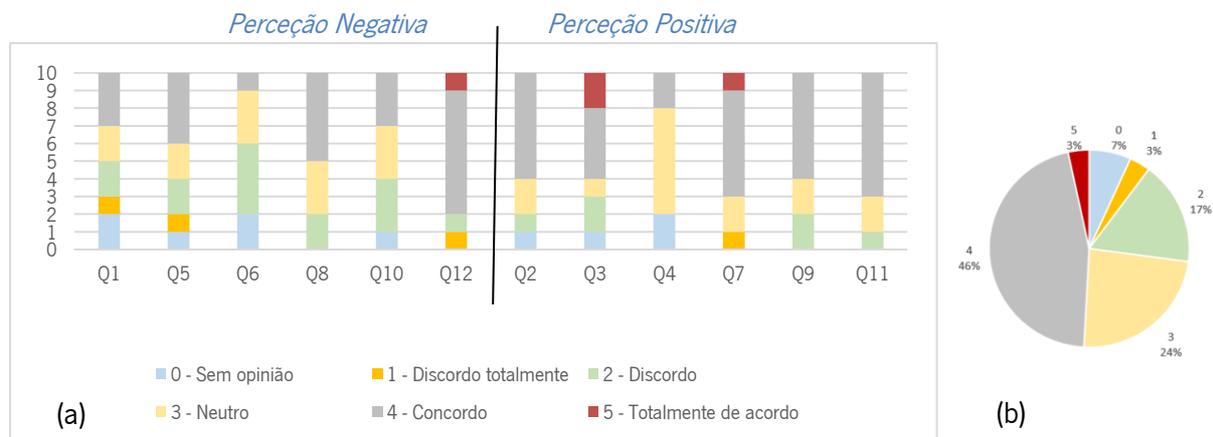


Figura 75 - Distribuição (a) absoluta das respostas às questões sobre a influência da robótica em meio industrial e (b) na frequência relativa dos graus de concordância (n=10)

À semelhança do que ocorria com as trabalhadoras da pré-montagem, também para estas trabalhadoras a menor mão-de-obra é considerado o conceito que mais associam aos *robots* tradicionais, e a substituição das tarefas repetitivas do ser humano como a principal tarefa onde vêm os *robots* a ser usados – Figura 76.

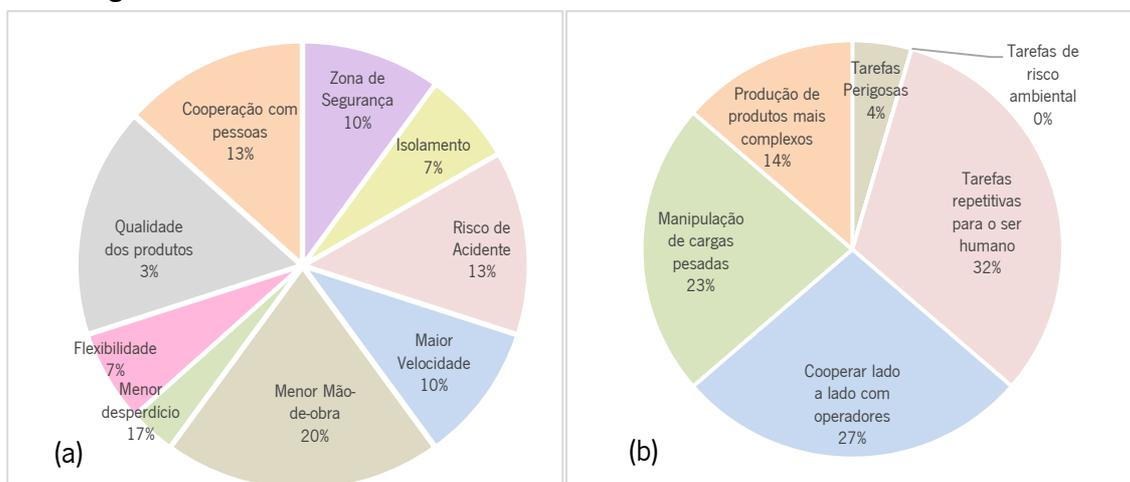


Figura 76 - Distribuição relativa das respostas acerca de (a) identificação dos conceitos mais associados à robótica tradicional e (b) aplicabilidade desta

Tirando duas trabalhadoras que já tinham lidado com um *cobot*, as restantes responderam que não estavam familiarizadas com o mesmo. Quando questionadas a comparar os *robots* tradicionais e os colaborativos, os resultados (Figura 77) mostraram que na maioria das questões não dispunham de qualquer opinião sobre o assunto estando o resto das respostas maioritariamente atribuídas aos *cobots*.

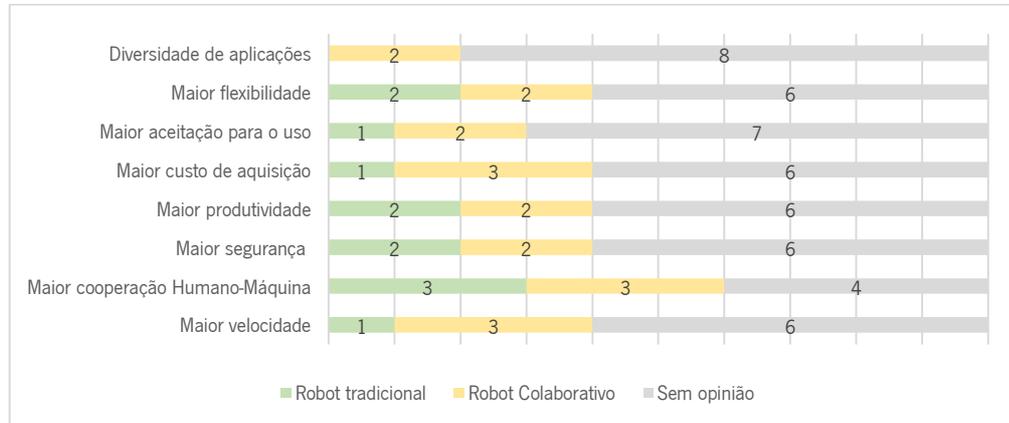


Figura 77 - Distribuição absoluta das respostas acerca das caraterísticas atribuídas aos robots tradicionais e colaborativos (n=10)

Sobre a utilidade do *cobot* noutra secção da empresa, as trabalhadoras dispunham da mesma opinião que as trabalhadoras da pré-montagem tanto nos postos de trabalho como nas respetivas tarefas em que deveriam ser auxiliadas. Os resultados obtidos sugerem a possível aplicação do *cobot* nos postos de montagem do favo de mel (a inserir o favo dentro das *frames*), no abastecimento dos carrinhos (a ajudar a colocar as ripas no mesmo), na montagem de *frames* (aplicar cola) e montagem BOF (posto de *Cold Press*). Relativamente ao tipo de impacto que um *cobot* teria em diversos níveis (Figura 48), por oposição aos resultados obtidos no Estudo de Caso 1, as trabalhadoras na sua maioria associam os *cobots* à criação dos postos de trabalhos humanos. Na maioria das questões a opinião traduz um impacto positivo dos *cobots*, sendo a segurança e a competitividade as valências que possuem alguma opinião negativa.

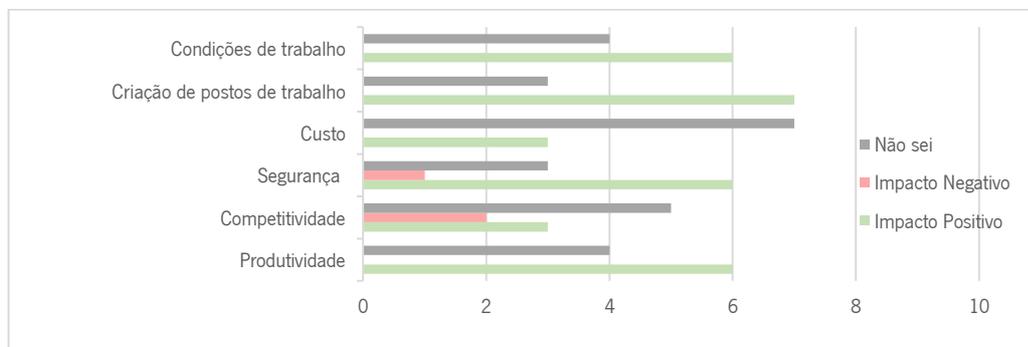


Figura 78 - Distribuição absoluta das respostas acerca do tipo de impacto esperado aquando do uso de um *cobot* (n=10)

Em 40% das trabalhadoras é demonstrada uma maior vontade em operar com um *robot* com barreiras físicas ao invés de sem barreiras/grades. Para a maior aceitação dos *cobots* na colaboração humano-*robot*, a maioria das pontuações dadas pertencem aos níveis adjacentes 4 e 5, sendo os requisitos de maior importância a segurança, o nível de formação/instrução sobre os mesmos e a adequação do ritmo de trabalho do *robot* ao trabalho humano – Figura 79.

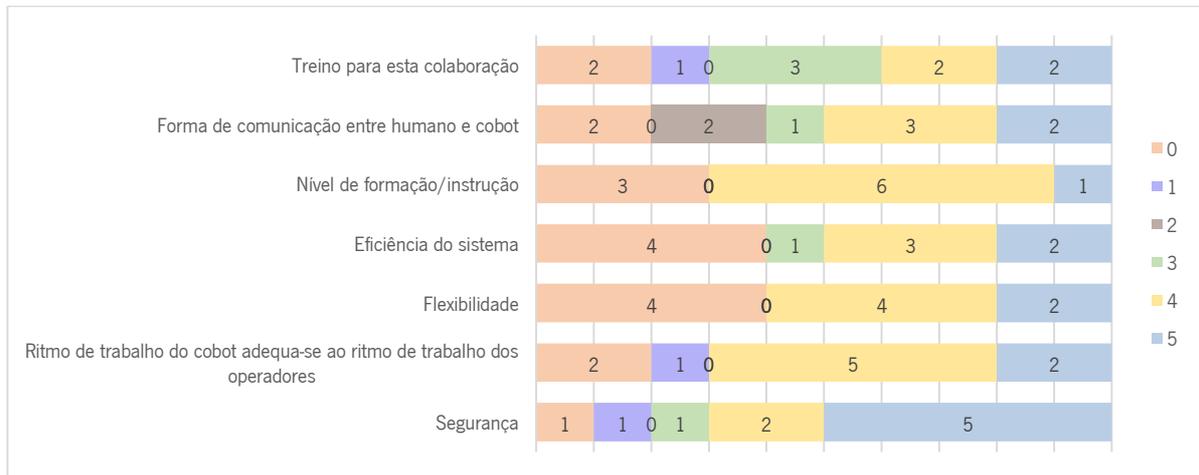


Figura 79 - R Distribuição absoluta das respostas acerca da importância de certos requisitos na aceitação para a colaboração entre humanos e cobots (n=10)

6.4 Potencialidades da implementação de HRC na fábrica

Depois desta análise preliminar, a empresa constatou que a implementação de uma montagem de *frames* em duplo, para as referências apresentadas (B3 e B2) não seria tão impactante e viável, quanto a otimização ergonómica e produtiva do posto de trabalho na *Cold Press*.

A principal razão da preferência residiu no facto de que na montagem, caso se produzisse em duplo as referências de maior dimensão, estas congestionariam o processo dianteiro e dificultariam a transição entre secções pela falta de margem dos espaços onde ocorrem as deslocações atualmente. Já na *Cold Press* as *frames* continuariam a chegar da mesma forma mas havia a possibilidade de serem empilhadas duas a duas lateralmente.

Sendo um estudo prospetivo para uma futura implementação de HRC aplicou-se um algoritmo para averiguar o potencial de implementação de um *cobot* no auxílio das tarefas do posto de trabalho selecionado.

O algoritmo, inspirado no estudo de caso de Gualtieri et al. (2020), procura avaliar e averiguar de forma rápida se o estado corrente do tempo de ciclo da operação de *Cold Press* tem potencial para ser assessorado por um *robot* colaborativo. A avaliação considera cinco fatores críticos (*l*) do processo

(do inglês, *process critical issues* - PCI) - Segurança e Ergonomia, Qualidade do Processo/Produto e Fator econômico. Estes fatores têm de ser avaliados através de um número inteiro de 0 a 3 onde:

- 0 significa que o problema não existe e que não é necessário melhorar essa atividade
- 1, as melhorias passíveis de serem alcançadas podem ser moderadas para essa atividade;
- 2, as melhorias passíveis de serem alcançadas podem ser boas para a atividade;
- 3, as melhorias podem ser significativas para essa tarefa.

Por fim, para cada tarefa j da atividade geral, é calculado o valor de potencial (do inglês, *Potential Value* - PV) em termos de intervenção Humano-*Cobot* através da Equação 5. Nesta equação S_i traduz a pontuação dada à tarefa j na categoria i e W_i o peso dado à categoria i a fim de fornecer mais relevância para o bem-estar físico e segurança ocupacional do operador e para o projeto de sistema de produção sustentável.

$$PV_j = \sum_{i=1}^5 S_{ij} * W_i \quad (5)$$

O índice PV_j obtido pode variar entre 0 e 36 estando o sucesso da adoção de uma solução colaborativa para essa tarefa categorizada em 5 patamares: Sem potencial ($PV_j=0$); Potencial baixo ($1 \leq PV_j < 9$); Potencial moderado ($9 \leq PV_j < 18$); Bom potencial ($18 \leq PV_j < 27$) e Alto potencial ($27 \leq PV_j \leq 36$).

O *template* deste algoritmo encontra-se preenchido na Tabela 46.

Tabela 46 - Aplicação do algoritmo de avaliação rápida do potencial de HRC no posto da Cold Press

Categoria	Peso (W_i)	Fator crítico do processo (PCI)	Pontuação (S_{ij}): 0-3				
			Alcançar baseboard	Posicionar a baseboard	Alinhar frames com martelo	Alcançar a placa HDF e empilhar	Alcançar e empilhar as frames
Segurança e Ergonomia	3	<p>PCI 1:</p> <p>Existem problemas ergonômicos relacionados com:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Levantar/Baixar ou carregar objetos? - Tarefas repetitivas dos membros superiores caracterizadas por ciclos de trabalho repetidos? - Posturas estáticas ou desadequadas? 	2	1	2	3	3
		<p>PCI 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existem riscos ocupacionais para a segurança do trabalhador que não estão precavidos adequadamente? - Existe risco ocupacional para a saúde do trabalhador que não está devidamente precavido (não considerados anteriormente)? 	0	0	1	2	2
		<p>PCI 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Há alta monotonia do trabalho? - Os requisitos são muito baixos em termos de qualificação da tarefa do trabalho manual? 	0	0	0	3	3
Qualidade do Produto/Processo	2	<p>PCI 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> -A qualidade do produto não é constante/ satisfatória? - Os níveis de qualidade do processo são inadequados face aos valores nominais (ou seja, caracterizados por alta variabilidade e baixa padronização)? 	0	0	1	0	0
Fator Económico	1	<p>PCI 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existe uma utilização ineficiente do tempo/recursos sem um real avanço da produção, o que pode significar a existência de tarefas sem valor acrescentado para o cliente final? - A produtividade/eficiência do processo é baixa/não satisfatória? 	1	1	1	1	1
Valor do potencial (PV_j)			7	4	12	25	25
Patamar do potencial			Baixo		Moderado	Bom	

Pela análise da Tabela 46 observa-se que há questões em que o problema não existe e/ou tem menos influência. As pontuações mais altas foram atribuídas nas questões PCI 1 e PCI 3 estando estas relacionadas com a prática de posturas de trabalho inadequadas e monotonia do mesmo resultantes da própria tarefa ou da disposição dos objetos no *layout* do posto de trabalho. Na questão PCI 2, não se salientam riscos químicos, biológicos e de acidentes/mecânicos para a maioria das tarefas, não existindo fatores de risco ocupacional para a segurança nem saúde das trabalhadoras em nenhuma das tarefas. Os únicos riscos a que as trabalhadoras estão expostas constituem-se riscos ergonômicos e estão associados às tarefas com teor repetitivo maior que exigem a prática de posturas desadequadas. Já na PCI 4, a única tarefa que apresente pontuação é o alinhar das *frames* já que é um retrabalho praticado no final de cada ciclo pois o empilhamento nem sempre é conseguido na sua melhor orientação. Os valores atribuídos à PCI 5 para as três primeiras tarefas resultam destas não acrescentarem valor ao processo de empilhamento das *frames*, não obstante sendo necessárias. Da mesma forma, as duas últimas nem sempre operam no seu rendimento máximo devido aos defeitos que por vezes surgem provenientes dos postos de trabalho anteriores o que leva as trabalhadoras despendem de mais tempo a descolar as *frames* e/ou esperar pelos inputs.

Assim conclui-se que as tarefas de alcance de placas HDF e *frames* constituem-se como tarefas com um alto potencial de implementação de *cobots* e que efetivamente iriam ajudar a reduzir, não a repetitividade, mas a qualidade de execução do trabalho melhorando as condições laborais das trabalhadoras. Também a tarefa de alinhamento das *frames* com o martelo pode exigir atenção, embora entre duas tarefas deste tipo a trabalhadora ter tempo de recuperar.

Sendo uma solução que ainda está a ser alvo de estudo, não há indicação do potencial de melhoria que esta pode trazer ao nível do possível aumento produção.

7. CONCLUSÃO

Face à competitividade industrial vivenciada atualmente entre as diversas empresas, estas têm de antecipar e dar resposta aos pedidos cada vez mais exigentes dos seus clientes ao mesmo tempo entregam produtos únicos e com qualidade tal que os façam diferenciar da sua concorrência no mercado. Tais soluções são conseguidas à custa do trabalho conjunto da organização e seus colaboradores, onde são implementadas soluções que permitem produzir as quantidades procuradas, no instante de tempo em que são pedidas, com uma variabilidade de processos baixa. Neste contexto, é então fundamental que as empresas consigam gerir os seus negócios na ótica de uma melhoria contínua não só dos processos e/ou produtos mas também das condições de trabalho dos principais intervenientes da sua fabricação: os colaboradores.

O principal objetivo desta dissertação passava pela avaliação do impacto que uma célula colaborativa podia ter em postos de trabalho manuais. Como tal, foram definidos e analisados dois estudos de caso, ambos em desenvolvimento pelo laboratório de investigação DTx, com alcances diferentes na presente dissertação. O primeiro estudo de caso, tendo já sido projetado, foi implementado no decorrer do tempo de estágio da empresa o que tornou possível a verificação das novas condições de trabalho, quer ao nível produtivo quer ergonómico. Já o segundo, tendo conclusão planeada para dezembro de 2021, foi abordado como uma análise prospetiva do potencial que poderá ter num futuro próximo. No que diz respeito aos objetivos específicos definidos para este trabalho, considera-se que foram concretizados.

Inicialmente, começou-se por analisar de forma pormenorizada os postos de trabalho atribuídos a cada estudo de caso com vista a detetarem-se problemas que poderiam prejudicar a produção, a capacidade produtiva, assim como a própria conceção do trabalho com foco nas pessoas. Durante todo o projeto, procurou-se sempre envolver e ter em consideração os colaboradores dos processos na identificação destas situações, através de queixas, desabafos, opiniões e perceções conseguidas através de questionários redigidos com perguntas específicas por forma a estes se sentirem envolvidos no projeto de investigação e contribuirem com opiniões construtivas. Na fase final, os postos foram novamente estudados com vista a identificarem-se ou perspetivarem-se as melhorias que existem/ poderão existir.

Embora possa parecer pouco intuitivo perceber a razão para o investimento de um *cobot* no auxílio parcial de um processo ao invés de o transformar todo numa atividade automática, evidencia-se que uma das razões foi manter o processo flexível e disponível para operar de outra forma se reprogramado para tal. Ao invés das soluções de robótica tradicional, a robótica colaborativa tem uma maior capacidade para ser reajustada a uma maior variedade de produtos, como seria neste contexto o

seu uso na pré-montagem de outro produto diferente, como a empresa pretende explorar num futuro próximo.

Em adição, dado tratarem-se de produtos pouco complexos, a sua cadência de execução é rápida, estando as trabalhadoras mais expostas a fatores de risco durante um dia de trabalho. Como o foco foi sempre mantê-las, importava melhorar as suas condições de trabalho pois assim conseguiria aumentar-se o seu desempenho, a sua satisfação e motivação na atividade, bem como reduzir a probabilidade de agravarem as suas LMERT.

O investimento feito na implementação da robótica colaborativa no posto da pré-montagem, permitiu reduzir o tempo de ciclo das referências em análise em cerca de 4,2% e 7,8% e da pontuação RULA ponderada em cerca de 5,0%. O processo automatizado da aplicação de cola na pré-montagem permite poupar o seu consumo em cerca de 30%, da mesma forma que reduz a exposição a um dos fatores de risco da atividade de aplicação de cola com pistola que gerava maior tensão ao nível dos pulsos. Quanto à influência na pré-montagem no processo de montagem de *frames*, a existência da pré-montagem colaborativa permite reduzir em 7% o consumo de cola diário por palete bem como reduzir a pontuação RULA em 8,7% na montagem final. A redução do tempo de ciclo fará aumentar a produtividade do posto da pré-montagem à custa da reorganização do conteúdo de trabalho, nomeadamente na eliminação/redução de tarefas logísticas de troca de materiais no posto.

Relativamente ao segundo estudo de caso, sendo um estudo prospetivo, foram analisadas as propostas apresentadas pela empresa para duas secções, tendo-se identificado os fatores de risco e aplicado o RULA com vista a prever-se o nível de risco de LMERT em ambas as secções. Foi elaborado uma tabela comparativa entre as secções reunindo-se informação como tempos de ciclo, desafios ao nível da robótica e/ou ergonomia, potencial de colaboração entre humanos e *cobots*, entre outras. Por forma a recolher a perceção das trabalhadoras sobre a robótica industrial e/ou colaborativa foi aplicado um questionário onde se verificou as principais preocupações aquando da interação, nomeadamente ao nível da segurança e extinção dos postos de trabalho. Tendo a empresa optado pela secção de *Cold Press*, foram elaboradas e apresentadas algumas soluções que ainda se encontram em processo de estudo e ajustes. Finalmente, através da aplicação de um algoritmo estimou-se o potencial de implementação de uma célula colaborativa nas tarefas do posto de *Cold Press* sendo este mais impactante da tarefa de alcançar e empilhar as *frames*/placas de HDF.

Com esta dissertação pretende-se que a empresa fique com um *know-how* mais detalhado dos postos de trabalho e da forma como são executadas as suas atividades. Quanto ao posto da pré-montagem, a empresa dispõe de registo de dados pré e após a instalação colaborativa com o objetivo

de reavaliarem a execução de atividades que comprometem a produtividade do processo de pré-montagem bem como precaverem situações de falha no mesmo que possam estar na origem de tempos de pausa desnecessários. Já no posto de montagem, salienta-se a importância do provável redesign das mesas de trabalho e carrinho de abastecimento, nomeadamente da altura dos mesmos para a menor exposição das trabalhadoras a posturas desadequadas que são executadas por culpa da produção esperada. A presente dissertação reforça a importância da aplicação de princípios ergonómicos e de *Lean Production* aquando do design e implementação de postos de trabalho com robótica colaborativa.

Com este projeto espera-se destacar a importância e eficácia da pré-montagem no processo global de produção de *frames* e que seja encarada na empresa como um processo igual aos outros que deve ser executado de forma contínua mas aproveitando o máximo potencial da célula montada, assim como das trabalhadoras que lá estão atribuídas.

Mesmo sendo um ano atípico, esta dissertação foi conseguida no prazo inicialmente estipulado graças à predisposição e esforço contínuo quer dos responsáveis do projeto na empresa, quer através da oportunidade de cooperar, colaborar e aprender com a equipa multidisciplinar de investigação. Como principal limitação salienta-se a existência escassa de literatura baseada em casos de estudo reais para algumas metodologias abordadas, como é o caso do ErgoVSM e do estudo de tempos de forma exaustiva.

No sentido de trabalho futuro seria interessante reavaliar através da versão portuguesa do questionário NMQ como evoluiu a perceção das trabalhadoras da pré-montagem. Futuramente, deveria também ser estudada uma forma mais eficiente de abastecer os carrinhos e o redesign do posto de montagem vertical de *frames*. No seguimento, sugerem-se algumas propostas que podem ser alvo de um próximo estudo de dissertação nesta empresa: impacto de um plano de rotatividade e/ou enriquecimento do trabalho para redução da repetitividade da montagem, influência da robótica colaborativa na gestão da produção e a reavaliação da integração de uma célula colaborativa numa secção com um plano de rotatividade implementado.

8. BIBLIOGRAFIA

- 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>
- Ahonen, M., Launis, M., & Kuorinka, T. (1989). Ergonomic Workplace Analysis. In *Institute of Occupational Health*. Logica.
- Alves, A., Lima, R. M., & Silva, S. C. (2003). Sistemas de Produção Orientados ao Produto: Integrando Células e Pessoas. *Revista de Inovação Organizacional*, 1(1), 109–146. file:///C:/Documents and Settings/Rml/My Documents/Investig/Bibliografia/Journals/Artigos/INOFOR_AARLCS.pdf
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). *The Global E-waste Monitor 2017*. United Nations; University (UNU); International Telecommunication Union (ITU) & Inte; (ISWA).
- Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., & Scholtz, O. (2016). *Lightweight robots in manual assembly – best to start simply! Examining companies' initial experiences with lightweight robots*. 1–61. http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-415111.html%0Ahttp://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4151114.pdf
- 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>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean Manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876–940.
- Bissi, W. (2007). *Scrum - Metodologia de desenvolvimento ágil*. 3–6.
- Braga, A. (2011). McLuhan entre conceitos e aforismos. *Alceu*, 12(24), 48–55.
- BSI Group. (2016). Robots and robotic devices – Collaborative robots (ISO / TS 15066 : 2016). In *BSI Standards Publication*.
- Carette, J. (2014). Collaborative Robots reduce Ergonomic Problems. In *Robotiq*. <https://blog.robotiq.com/bid/71534/Collaborative-Robots-reduce-Ergonomic-Problems>
- 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*, 10(9), 3048. <https://doi.org/10.3390/app10093048>
- Colim, A., Sousa, N., Carneiro, P., Costa, N., Arezes, P., & Cardoso, A. (2020). Ergonomic intervention on a packing workstation with robotic aid-case study at a furniture manufacturing industry. *Work*, 66(1), 229–237. <https://doi.org/10.3233/WOR-203144>
- Correia, D. M. C. (2018). *Melhoria de uma célula produtiva através da metodologia Lean Six Sigma*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/56100>
- Crawford, J. O. (2007). The Nordic Musculoskeletal Questionnaire. *Occupational Medicine*, 57(4), 300–301. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/occmed/kqm036>
- Da Costa, A. M. N. (2002). *Revoluções Tecnológicas e Transformações Subjetivas*. 18(2), 193–202.
- Dathein, R. (2003). Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. *DECON Textos Didáticos*, 8. <http://www.ufrgs.br/decon/>
- David, G. C. (2005). Ergonomic Methods for assessing exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- DTx Colab. (n.d.-a). *DTx Estratégia*. <https://www.dtx-colab.pt/dtx-estrategia/>
- DTx Colab. (n.d.-b). *DTx Percurso*. <https://www.dtx-colab.pt/dtx-percurso/>
- El Makrini, I., Elprama, S. A., Van Den Bergh, J., Vanderborght, B., Knevels, A. J., Jewell, C. I. C., Stals, F., De Coppel, G., Ravysse, I., Potargent, J., Berte, J., Diericx, B., 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., Makrini, I. El, Vanderborght, B., Vrije, M. M., & Brussel, U. (2017). *Attitudes of Factory Workers Towards Industrial and Collaborative Robots*. 113–114.
- Emiliani, M. L. (2008). Standardized work for executive leadership. *Leadership & Organization Development Journal*, 29(1), 22–46.
- Everledger. (2001). *Our Technologies*. Science. <https://www.everledger.io/our-technologies/#86b1ba90a03fe3483>
- Faria, L. de. (2016). *Redução de desperdícios utilizando os conceitos lean em uma construtora de pequeno porte*. 0–78.
- FCT. (2019). *Lista dos 26 CoLAB aprovados nas três avaliações do concurso realizadas entre janeiro de 2018 e julho de 2019*. 2018–2019.
- Gil-Vilda, F., Sune, A., Yagüe-Fabra, J. A., Crespo, C., & Serrano, H. (2017). Integration of a collaborative robot in a U-shaped production line: a real case study. *Procedia Manufacturing*, 13, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.015>
- Gillespie, R. B., Colgate, J. E., & Peshkin, M. A. (2001). A general framework for Cobot control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 17(4), 391–401. <https://doi.org/10.1109/70.954752>
- Gualtieri, L., Palomba, I., Merati, F. A., Rauch, E., & Vidoni, R. (2020). Design of human-centered collaborative assembly workstations for the improvement of operators' physical ergonomics and production efficiency: A case study. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093606>
- Hines, P., Holweg, M., Rich, & N. (2004). Learning to Evolve-A Review of Contemporary Lean Thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011.
- Jarebrant, C., 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*.
- Kaplan, G. S., Patterson, S. H., Ching, J. M., & Blackmore, C. (2014). Why Lean doesn't work for everyone. *BMJ Quality and Safety*, 23(12), 970–973. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2014-003248>
- Kildal, J., Tellaeche, A., Fernández, I., & Mautua, 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>
- Klussman, A., 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 Disord*, 18, 187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12891-017-1542-0>
- Kolberg, D., Zühlke, D., Kolberg, D., & Kolberg, D. (2015). *Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Kumar, R., Singh, K., & Jain, S. K. (2019). Agile manufacturing: a literature review and Pareto analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/IJQRM-12-2018-0349>
- 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/https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X)
- Kushwaha, D. K., & Kane, P. V. (2016). Ergonomic assessment and workstation design of shipping crane cabin in steel industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.08.003>

- Li, G., & Buckle, P. (1999). Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, *42*, 674–695.
- Liker, J. K. (2004). O Modelo Toyota: 14 Princípios de gestão do maior fabricante do Mundo. *Porto Alegre: Bookman*.
- Magalhães, R., & Vendramini, A. (2018). Os impactos da quarta revolução industrial. *GV-Executivo*, *17*(1), 40. <https://doi.org/10.12660/gvexec.v17n1.2018.74093>
- 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)
- McLuhan, M., & Powers, B. (1986). *The Global Village: Transformations in world life and media in the 21st century*. New York: Oxford University Press.
- Mesquita, C. C., Ribeiro, J. C., & Moreira, P. (2010). Portuguese version of the standardized Nordic musculoskeletal questionnaire: cross cultural and reliability. *J Public Health*, *18*, 461–466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10389-010-0331-0>
- Middlesworth, M. (2016). *The Cost of Musculoskeletal Disorders (MSDs) [Infographic]*. <https://ergo-plus.com/cost-of-musculoskeletal-disorders-infographic/>
- Morais, V. R., Sousa, S. D., & Lopes, I. (2015). Implementation of a lean six sigma project in a production line. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, *2218*, 847–852.
- Moura, J. L. S., & Moura, R. A. (2019). Interação Humano - Máquina No Sistema Produtivo Da Indústria 4.0. O Visando Aumentar a Produtividade. *Anais Do VI CIMATech*.
- Mundel, M. E. (1955). Motion and Time Study. In *Improving Productivity* (2ª). Prentice-Hall.
- Nakajima, S. (1989). *Introdução do TPM - Total Productive Maintenance*. 106.
- NetscanDigital. (2019). *O que a digitalização de documentos e a indústria 4.0 têm em comum?* <https://netscandigital.com/blog/o-que-a-digitalizacao-de-documentos-e-a-industria-4-0-tem-em-comum/>
- Neves Rombão, M. M. (2019). *Terão os robôs capacidade para substituir o ser humanos?* 1–66.
- OCDE. (2008). *The future of productivity* (Vol. 7, Issue 8). <https://doi.org/10.1097/00002508-198602020-00001>
- Ohno, T. (1988). Toyota Production System: beyond large-scale production. In C. Press (Ed.), *CRC Press*.
- Ohno, T. (1997). *O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala* (Cristina Schumacher (ed.)). Porto Alegre: Bookman Editora.
- OIT- Organização Internacional do Trabalho. (1963). *Introdução ao Estudo do Trabalho*. I. N. I. I.
- Oke, S. A. (2012). Six Sigma: a Literature Review. *The South African Journal of Industrial Engineering*, *18*(2). <https://doi.org/10.7166/18-2-122>
- OSHA. (2012). *Solutions for the Prevention of Musculoskeletal Injuries in Foundries*. <https://doi.org/10.1038/356718a0>
- Owen-Hill, A. (2016a). *Robots can help reduce 35% of work days lost to injury* (pp. 1–14). ROBOTIQ. http://robohub.org/robots-can-help-reduce-35-of-work-days-lost-to-injury/?utm_content=bufferc4749&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer
- Owen-Hill, A. (2016b). *What Makes Collaborative Robots Ergonomic?* ROBOTIQ. <https://blog.robotiq.com/what-makes-collaborative-robots-ergonomic>
- 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>
- Rother, M., & Shook, J. (1998). Learning to See - Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. *The Lean Enterprise Institute*.
- Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry

- 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing. *The Boston Consulting Group*, 1–20. https://www.bcgperspectives.com/Images/Industry_40_Future_of_Productivity_April_2015_tcm80-185183.pdf
- Ruiz, R. (2018). *Robot Grippers_ Types and Applications in the Industry*.
- Sapo TEK. (2020). *DTX: OS NOVOS PARADIGMAS QUE SE FAZEM COM A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL EM MODELO DE COLAB*. <https://alumni.uminho.pt/pt/news/Paginas/01/04/2020/DTx.aspx>
- Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab | World Economic Forum. In *World Economic Forum* (pp. 1–5). <https://doi.org/978-1-5247-5886-8>
- Shariat, A., Cleland, J. A., Danaee, M., Alizadeh, R., Sangelaji, B., Kargarfard, M., Ansari, N. N., Sepmehr, F. H., & Tamrin, S. (2018). Borg CR-10 scale as a new approach to monitoring office exercise training. *Work (Reading, Mass.)*, *60*(4), 549–554. <https://doi.org/https://doi.org/10.3233/WOR-182762>
- Shingo, S. (2000). *O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas* (Porto Alegre: Bookman Editora. (ed.)).
- Shriaz, J. (2019). *Walmart's Foray Into Blockchain, How is the Technology used*. Conitelegraph. <https://cointelegraph.com/news/walmarts-foray-into-blockchain-how-is-the-technology-used>
- Tharmmaphornphilas, W., & Norman, B. A. (2007). A methodology to create robust job rotation schedules. *Annals of Operations Research*, *155*, 339–360.
- Toledo, R. F. d., Giatti, L. L., & Jacobi, P. R. (2014). Action research in interdisciplinary studies: analysis on criteri that can be revealed only through practice. *Interface-Comunicação, Saúde, Educação*, *18*(51), 633–646.
- Tremblay, G. (2008). De Marshall McLuhan a Harold Innis ou da Aldeia Global ao Império Mundial. *Revista FAMECOS*, *10*(22), 13. <https://doi.org/10.15448/1980-3729.2003.22.3228>
- Universal Robots. (2020). *Universal Robot UR10e*. Universal Robots E-Series. <https://www.universal-robots.com/pt/produtos/ur10-robot/>
- Villani, V., Pini, F., Leali, F., & Secchi, C. (2018). Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. *Mechatronics*, *55*(February), 248–266. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2018.02.009>
- Volkswagen Portugal. (2020). *Reciclagem: 95% do seu Volkswagen pode ser reciclado e reutilizado*. <https://www.volkswagen.pt/pt/proprietarios-e-apos-venda/Informacoes-aos-clientes/reciclagem.html>
- Werkema, C. (2008). *Integração Lean & Seis Sigma : muito barulho por nada ?* 48–54.
- Werkema, M. C. (2006). Lean Seis Sigma - introdução às ferramentas do Lean Manufacturing. *Revista Gestão Industrial*, *2*(2), 120. <https://doi.org/10.3895/S1808-04482006000200012>
- Westgaard, R. H., & Winkel, J. (1996). Guidelines for occupational musculoskeletal load as a basis for intervention: a critical review. *Applied Ergonomics*, *27*(2), 79–88.
- Winkel, J., Edwards, K., Birgisdóttir, B. D., Jarebrant, C., Hanse, J. J., S., G., Harlin, U., & Ulin, K. (2015). A Nordic evaluation of a work environment complement to Value Stream Mapping for increased sustainability of patient flows at hospitals - The NOVO Multicentre Study I. *Abstract Book, The 9th Novo Symposium: Quality in Health Care*, 33–35.
- 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. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600967>

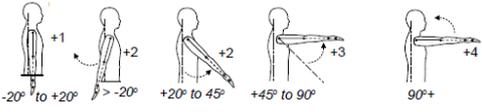
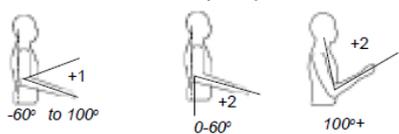
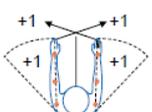
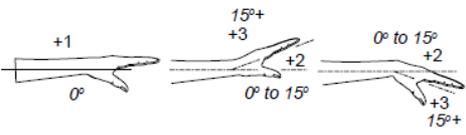
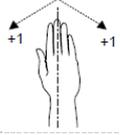
ANEXO 1 – CORREÇÕES: DEFINIÇÃO

Tabela 47 - Tipos de correções aplicáveis existentes

Correção		Descrição
Repouso	Fixas	Base para a fadiga Aplicam-se para compensar a energia despendida no trabalho e aliviar a monotonia - Sentado, - Trabalhos ligeiros, - Boas condições de trabalho - Unicamente uso das mãos, pernas e faculdades sensoriais
		Necessidades pessoais Aplicam-se para incorporar a componente fisiológica do trabalhador (ex. Idas à casa de banho, Hidratação, etc.).
	Variáveis	São incorporadas quando as condições de trabalho são distintas das descritas nas Correções de Repouso.
Especiais	Atividades periódicas	Inclui as atividades que normalmente não fazendo parte do ciclo de trabalho são indispensáveis para o seu funcionamento e boa execução.
	Equilibragem	Atribuídas aos trabalhadores encarregados de conduzir várias máquinas suscetíveis de parar provocando um desequilíbrio no ciclo de trabalho.
	Outras	Associadas a: - Produtos defeituosos inerentes ao processo; - Retrabalho de produtos defeituosos sob novas condições de trabalho; - Formação de novos trabalhadores (min/h a tender para zero ao longo do tempo); - Implementação de novos métodos de trabalho; - Etc.
Demoras Inevitáveis		Respeitante a: - Trabalhos de equipa e a dependência entre os elementos; - Esperas por operação automática das máquinas; - Processo de controlo de processos sem (ou com pouca) intervenção humana.
Ocorrências Irregulares		Retratam ocorrências irregulares e aleatórias durante o ciclo de trabalho.
Suplementares		Atribuídas pela gestão da empresa para concederem o Tempo Padrão de acordo com cláusulas e convenções coletivas salariais acordadas entre a empresa e os sindicatos.

ANEXO 2 – RULA: TABELA

Tabela 48 - RULA: Grupo A

Análise RULA do Elemento X		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço 	-20° a 20° >20° 20° a 45° 45° a 90° > 90°	+1 +2 +2 +3 +4
1a: Ajustar	Ombro levantado Abdução do braço Ombros apoiados	+1 +1 -1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço 	0° a 60° 60° a 100° > 100°	+2 +1 +2
2a: Ajustar	 O antebraço cruza a linha central do corpo ou trabalha na parte lateral	+1
Passo 3: Verificar a posição do pulso 	-15° a 0° 0° 0° a 15° > 15°	+3 +1 +2 +3
3ª: Ajustar	 Existe abdução ou adução do pulso	+1/+1
Passo 4: Rotação do pulso Ligeira Até próximo do limite		+1 +2
Passo 5: Encontrar a pontuação: Tabela A	<i>Utilizar os valores dos Passos 1 a 4 para encontrar a pontuação para a postura</i>	Ver Tabela A
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular Postura essencialmente estática (mantida mais do que 1min) ou; Postura repetida 4x/min ou mais		+1 +1
Passo 7: Pontuação – Força/Carga Sem carga ou inferior a 2kg (intermitente) Entre 2 a 10kg (intermitente) Entre 2 a 10kg (estática ou repetida) >10kg, choques ou aplicação de força de forma repetida		+0 +1 +2 +3
Passo 8: Linha na Tabela C	<i>Utilizar a soma dos valores dos Passos 5 a 7 para determinar a respetiva linha</i>	

Análise RULA do Elemento X

Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas

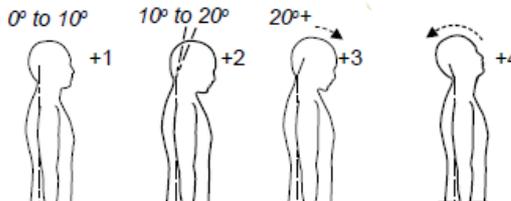
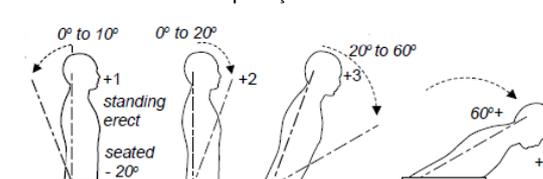
Passo 9: Verificar a posição do pescoço		
	<p>< 0° +4</p> <p>0° a 10° +1</p> <p>10° a 20° +2</p> <p>> 20° +3</p>	
9a: Ajustar	Há rotação lateral do pescoço +1	Há inclinação lateral do pescoço +1
Passo 10: Verificar a posição do tronco		
	<p>-10° a 0° +1</p> <p>0° a 20° +2</p> <p>20° a 60° +3</p> <p>> 60° +4</p> <p>O tronco está bem apoiado enquanto sentado +1</p> <p>Caso não aconteça +2</p>	
10a: Ajustar	Há rotação lateral do tronco +1	Há inclinação lateral do tronco +1
Passo 11: Verificar a posição das pernas		
	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada +1	Pernas e pés mal apoiados e em postura instável +2
Passo 12: Encontrar a pontuação: Tabela B	<i>Utilizar os valores dos Passos 8 a 10 para encontrar a pontuação para a postura</i>	
		Ver Tabela B
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular		
	Postura essencialmente estática (mantida mais do que 1min) ou; Postura repetida 4x/min ou mais +1	
	Sem carga ou inferior a 2kg (intermitente) +0	
	Entre 2 a 10kg (intermitente) +1	
Passo 14: Pontuação – Força/Carga		
	Entre 2 a 10kg (estática ou repetida) +2	
	>10kg, choques ou aplicação de força de forma repetida +3	
Passo 15: Coluna na Tabela C	<i>Utilizar a soma dos valores dos Passos 12 a 14 para determinar a respetiva coluna</i>	
	Pontuação Final	Ver Tabela C

Tabela A - RULA: Pontuação Grupo A

Braço	Antebraço	Pulso							
		1		2		3		4	
		Rotação do pulso							
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Tabela B - RULA: Pontuação Grupo B

Pescoço	Tronco											
	1		2		3		4		5		6	
	Pernas											
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Tabela C - RULA: Nível de risco

	1	2	3	4	5	6	7+
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

Tabela 50 - Fases da metodologia RULA

Fases	Descrição
Etapa 1	<p data-bbox="555 322 1214 351" style="text-align: center;"><i>Definição da postura corporal após a análise dos ciclos de trabalho</i></p> <p data-bbox="437 371 1337 495">A seleção desta postura pode ser baseada na posição em que o operador aguenta durante maior parte do ciclo de trabalho ou onde ocorre a maior sobrecarga. Contudo também pode ser aplicada a cada elemento durante um ciclo.</p>
Etapa 2	<p data-bbox="703 539 1066 568" style="text-align: center;"><i>Atribuição do sistema de codificação</i></p> <p data-bbox="421 584 1348 757">É necessário obter-se uma única pontuação para o grupo A e B intersetando-se os valores obtidos previamente nas respetivas tabelas – Tabela A e B, Anexo 11. Depois, importa considerar não só a utilização muscular de modo a integrar a questão da fadiga e o caráter estático (ou não) da postura mas também a força externa executada.</p>
Etapa 3	<p data-bbox="699 837 1070 866" style="text-align: center;"><i>Análise do nível de risco e intervenção</i></p> <p data-bbox="421 887 1310 965">Através da Tabela C (Anexo 11) irá obter-se o nível de risco para uma dada postura. Numa escala de 1-7 (risco crescente) as conclusões são as seguintes:</p> <ul data-bbox="421 981 1348 1249" style="list-style-type: none"><li data-bbox="421 981 1086 1010">-Nível 1/2: Posturas aceitáveis se não forem mantidas muito tempo;<li data-bbox="421 1025 1294 1104">-Nível 3/4: Posturas fora dos limites daquilo que se considera adequado ou, estando nos limites, as ações repetitivas, a performance estática ou a execução de força é necessária;<li data-bbox="421 1120 1286 1198">- Nível 5/6: Posturas fora dos limites aceitáveis, onde o operador é requerido a executar movimentos repetitivos e /ou trabalho estático com a necessidade de exercer força;<li data-bbox="421 1214 1348 1249">- Nível 7: Posturas perto ou no limite do movimento de execução da tarefa repetitiva e estática. <p data-bbox="421 1265 1299 1344">As medidas de intervenção devem ser introduzidas de forma urgente de modo a reduzir a sobrecarga excessiva do sistema musculoesquelético.</p>

ANEXO 3 - ERGOVSM: DISTINÇÃO ENTRE OS NÍVEIS EXTREMOS DA ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO

Tabela 51 - Distinção entre os níveis 1 e 10 da ferramenta ErgoVSM – Parte A

	Nível 1	Nível 10
Posturas	Posturas de trabalho variadas e favoráveis; Adaptação para a tarefa individual de trabalho; Espaço suficiente, possibilidade de movimentos livres e descongestionados, deslocamentos no mesmo piso, suporte para pernas e costas, suporte para braços.	Posturas desfavoráveis, isto é, forte torção e dobrado simultaneamente; Ângulos extremos das articulações da mão, cotovelo ou ombro; Mãos acima do nível do ombro ou muito além da distância do antebraço (sentado) ou distância do braço (em pé); Ajoelhado.
Força/Peso	Uso da força ou manuseio manual $\geq 25\text{Kg}$; Levantamento ou manuseio manual regular de 15 a 25Kg; Sempre má (ou pouca) capacidade de agarrar.	O trabalho envolve baixo uso da força e manuseio manual; As pegas e a capacidade de segurar são adaptadas individualmente
Exigência Mental	É sempre fácil e existe boas possibilidades de ter tempo para executar a tarefa, de falar e obter ajuda de co trabalhadores, ter tempo de pausa, manter a qualidade elevada, ter tempo de abastecer e/ou limpar o posto de trabalho (caso se aplique)	É sempre difícil de conseguir obter as condições expostas no nível 1.
Controle/Influência	Existem sempre várias maneiras de poder influenciar quando e como as tarefas tem de ser feitas, que suboperações estão incluídas, a sequência de suboperações, o tempo gasto em cada tarefa.	É sempre difícil de conseguir obter as condições expostas no nível 1.

Tabela 52 - Distinção entre os níveis 1 e 10 da ferramenta ErgoVSM – Parte B

	Nível 1	Nível 10
PEP (passo II)	Alta representatividade de tarefas do tipo A na cadeia de valor. Existe uma distribuição homogénea nas tarefas e entre os grupos B-F e pelo menos 4 destes grupos ocorrem.	A cadeia de valor apenas contém tarefas num único grupo entre B-F.
WCD (passo II)	Existe uma distribuição equilibrada entre os grupos A-C onde o grupo A ocorre frequentemente. O grupo D não aparece de todo na cadeia de valor	A cadeia de valor apenas contém tarefas do grupo D.
Por. Física/Mental	O trabalhador consegue controlar quando recuperar fisicamente/mentalmente e tem muitas boas possibilidades de o fazer.	No geral, o trabalho é fisicamente/mentalmente constrangido e restrito, havendo possibilidades muito limitadas para a recuperação física.
Comunicação	Existem sempre boas possibilidades de haver contacto social/de trabalho, escolher se prefere trabalhar sozinho ou acompanhado, pedir conselho, ter resposta rápida em situações de emergência, ...	É sempre difícil de conseguir obter as condições expostas no nível 1.

ANEXO 4 – MAPEAMENTO GENÉRICO DA PRODUÇÃO DE FRAMES

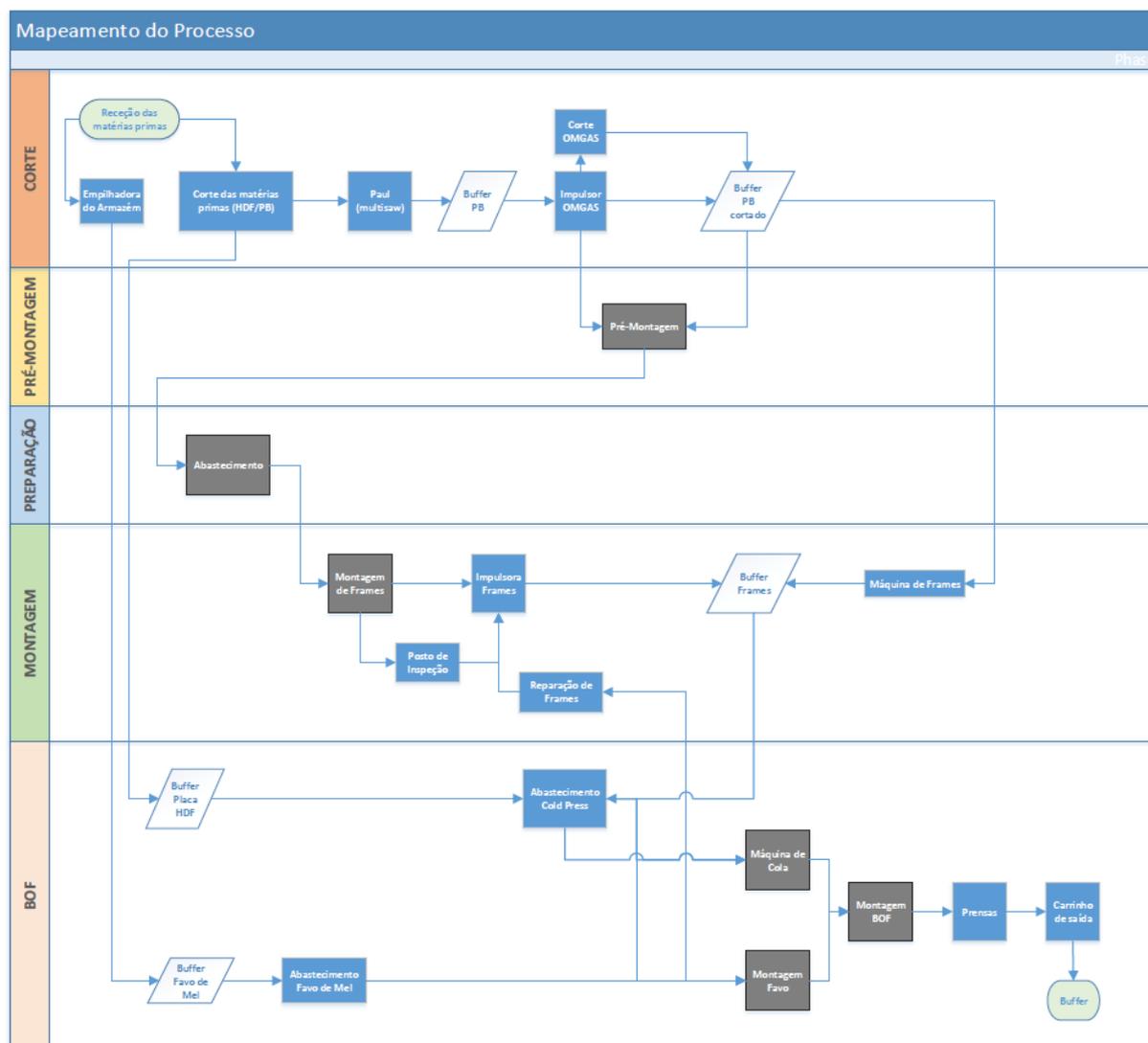


Figura 80 - Mapeamento das operações para a produção de frames

ANEXO 5 – TAREFAS COM CARGAS PARTILHADAS

Tabela 53 - Descrição das cargas nas tarefas partilhadas

	Produto - Duo	Atividade	Peso total das peças manipuladas (kg)	Distribuição do peso	Peso exercido a ajustar (kg)
PM (Inicial /Nova)	RS - T1/T2	Colocar as ripas no tabuleiro (T1)	1,158	A T1 encaminha toda a carga até à mesa de trabalho	1,5
		Ajudar a colocar as ripas no tabuleiro (T2)		A T2 apenas ampara e ajuda a ajustar as ripas na mesa	0,5
		Colocar na palete	1,626	Distribuição igual da carga entre as trabalhadoras	1,0
	RD - T1/T2	Colocar as ripas no tabuleiro (T1)	2,400	A T1 encaminha toda a carga até à mesa de trabalho	2,5
		Ajudar a colocar as ripas no tabuleiro (T2)		A T2 apenas ampara e ajuda a ajustar as ripas na mesa	0,5
		Virar as ripas	2,686	Distribuição igual da carga entre as trabalhadoras	1,5
		Colocar na palete	3,336		2,0
MC	A1 - T3/T4 T5/T6	Colocar na palete	8,988	Distribuição igual da carga entre as trabalhadoras	4,5
MF	A1 - T7/T8 T9/T10	Colocar as RD (T8/T10)	3,336	As T8/T10 encaminham e fixam toda a carga na estrutura em construção	3,5
		Ajudar a colocar as RD (T7/T9)		As T7/T9 ajudam a fixar as ripas na estrutura em construção	0,5
	Colocar as RS em cima (T7/T9)	1,626	Distribuição igual da carga entre as trabalhadoras	1,0	
	Ajudar a colocar as RS em cima (T8/T10)				
	Colocar na palete	8,988	Distribuição igual da carga entre as trabalhadoras	4,5	

ANEXO 6 – FOLHAS DE CÁLCULO PARA A CRONOMETRAGEM DA PM INICIAL

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7	
	TO	FA												
1	2,39	80	1,24	140	0,88	130	6,83	90	3,07	115	6,38	120	2,27	110
2	1,85	105	1,05	90	1,31	100	6,64	100	3,37	105	8,23	90	2,53	95
3	1,65	120	1,91	90	1,32	100	6,40	100	3,66	95	9,34	80	2,56	95
4	1,38	140	1,51	115	1,08	120	5,14	125	3,96	90	8,52	90	2,13	115
5	1,53	130	1,29	135	0,88	150	6,60	100	3,30	110	8,43	90	2,39	100
6	1,63	120	2,13	80	1,25	105	5,63	115	3,74	95	7,73	95	2,47	100
7	3,42	60	2,78	65	1,19	110	5,83	110	3,75	95	8,36	90	3,81	65
8	3,33	60	1,68	105	1,53	85	5,37	120	3,85	95	9,27	80	2,66	90
9	2,22	90	2,43	75	1,43	90	6,71	95	3,36	105	7,12	105	2,04	120
10	2,61	75	1,81	95	1,08	120	6,91	95	5,68	65	6,10	120	2,46	100
11	1,80	110	1,92	95	1,20	110	6,73	95	3,59	100	7,10	105	1,76	140
12	1,70	115	1,55	115	1,33	100	5,86	110	3,36	105	8,23	90	2,14	115
13	3,03	65	1,58	115	1,66	80	5,29	125	3,47	105	7,49	100	2,53	95
14	3,73	55	1,82	100	1,31	100	6,46	100	3,98	90	7,73	95	2,74	90
15	1,48	130	2,30	80	1,38	95	5,53	120	3,54	100	9,09	85	2,47	100
16	2,83	70	1,22	150	1,41	95	9,78	65	3,48	100	7,06	105	2,55	100
17	2,33	85	3,25	55	1,28	100	7,96	80	4,06	90	6,19	120	1,82	135
18	1,72	115	1,26	145	0,96	135	6,80	95	3,26	110	7,50	100	3,64	65
19	2,08	95	1,31	140	0,89	145	7,13	90	4,20	85	7,50	100	2,45	100
20	1,88	105	1,61	110	1,38	95	4,38	150	5,83	60	9,18	80	2,76	90
21	2,05	95	2,04	90	1,25	105	8,93	75	3,94	90	7,73	95	3,05	80
22	1,65	130	2,37	75	1,25	105	5,81	110	3,01	120	5,38	140	1,89	130
23	1,51	130	1,47	120	1,45	90	4,27	155	4,33	80	5,98	125	2,30	105
24	1,89	105	2,80	65	1,34	100	6,42	100	3,84	95	6,63	115	2,15	110
25	1,29	155	1,43	125	1,65	80	7,51	85	3,33	105	6,25	120	2,04	120
26	2,53	80	1,80	95	1,21	110	7,46	90	2,24	150	6,50	115	2,05	120
27	2,30	85	2,38	75	2,13	60	6,28	105	3,18	110	6,40	115	1,82	130
28	2,62	75	1,67	110	1,49	90	6,73	95	3,19	110	6,82	110	2,83	85

z	1,29													
e	0,05													
TO médio	2,16		1,84		1,30		6,48		3,70		7,44		2,44	
FA médio	99		102		104		103		99		103		104	
Desvio P.	0,532		0,431		0,183		0,859		0,484		0,912		0,351	
N'	40		36		13		12		11		10		14	

29	2,00	100	1,00	180										
30	2,65	75	1,63	110										
31	1,48	135	1,34	130										
32	2,42	80	0,94	190										
33	2,79	70	1,47	120										
34	2,99	65	1,61	110										
35	3,05	65	1,81	95										
36	2,13	90	1,82	100										
37	2,24	90												
38	2,53	80												
39	1,61	120												
40	1,73	115												

TO médio	2,20		1,76											
FA médio	97		108											
Desvio P.	0,509		0,404											
N'	36		35											

Figura 81 – PM inicial: Folha de cálculo para a RS_n

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6	
	TO	FA										
1	2,08	105	1,23	115	5,77	100	4,08	110	7,07	110	3,11	75
2	2,15	100	1,23	115	5,64	105	3,95	115	8,34	95	2,62	90
3	2,72	80	1,37	105	5,78	100	5,40	85	8,11	95	2,10	110
4	1,65	135	1,87	75	5,68	100	5,04	90	7,55	105	2,44	90
5	1,49	150	1,55	90	7,23	80	4,40	105	7,67	100	1,89	125
6	1,93	115	1,39	100	5,75	100	6,11	75	5,82	130	2,57	95
7	2,93	75	1,89	75	6,75	85	3,91	115	8,30	95	3,35	70
8	3,26	70	3,68	50	4,64	125	4,43	100	7,89	100	2,14	110
9	2,98	75	3,83	50	4,38	130	4,45	100	6,91	110	3,35	70
10	2,21	100	1,43	100	5,76	100	4,17	110	10,03	75	2,54	95
11	1,68	130	0,99	145	5,56	105	4,59	100	5,68	135	2,36	100
12	2,01	110	2,37	60	3,83	150	4,30	105	7,53	105	3,73	70
13	2,46	90	1,25	115	5,80	100	6,56	70	5,10	140	2,63	90
14	3,00	75	1,78	80	6,67	85	5,02	90	7,90	100	2,27	105
15	2,85	80	1,61	90	6,28	95	4,61	100	8,11	95	2,31	105
16	1,88	120	1,21	115	6,46	90	4,44	100	7,83	100	2,02	115
17	2,05	110	1,14	125	6,46	90	4,68	95	8,31	95	1,78	130
18	1,40	150	1,05	135	5,83	100	4,26	105	6,71	115	2,10	110
19	1,73	130	1,41	100	6,84	85	4,19	110	11,12	70	2,40	100
20	2,42	90	1,01	140	7,12	80	4,41	100	8,56	90	1,70	140
21	3,03	75	1,88	80	5,53	105	4,44	100	8,99	85	2,63	90
22	1,98	110	1,03	130	7,10	80	5,42	85	7,71	100	2,63	90
23	3,72	60	1,24	115	9,43	60	5,55	80	6,49	120	2,81	85
24	2,23	100	1,63	90	5,40	110	6,20	75	9,46	85	1,97	120
25	1,93	115	1,66	85	6,26	90	4,95	90	7,24	105	2,20	110
26	2,52	90	1,44	100	6,03	95	4,38	105	7,87	100	1,79	130
27	4,23	55	1,35	105	4,67	125	4,76	95	6,16	125	3,13	75
28	2,65	85	1,81	80	4,92	120	5,13	90	5,73	130	2,14	110

Z	1,29											
e	0,05											
TO médio	2,40		1,62		5,98		4,78		7,65		2,45	
FA médio	99		99		100		96		104		100	
Desvio P.	0,542		0,444		0,772		0,542		0,986		0,404	
N'	34		50		11		9		11		18	

29	1,36	150	1,42	100								
30	1,39	150	0,83	150								
31	1,31	150	0,91	150								
32	2,03	110	1,30	110								
33	2,44	90	1,60	90								
34	2,16	105	0,83	150								
35	1,60	135	1,66	85								
36	2,22	100	1,74	85								
37	2,14	105	1,26	115								
38	2,72	80	0,88	150								
39	2,81	80	1,85	75								
40			1,09	130								
41			1,36	105								
42			1,08	130								
43			1,50	95								

TO médio	2,29		1,50									
FA médio	103		104									
Desvio P.	0,517		0,389									
N'	34		45									

44			1,11	125								
45			1,47	95								

TO médio			1,49									
FA médio			105									
Desvio P.			0,378									
N'			43									

Figura 82 – PM inicial: Folha de cálculo para a RS_z

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11		Elemento 12						
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA																					
1	1,66	115	2,02	70	1,22	85	5,81	110	3,70	100	6,82	105	2,65	100	1,22	95	5,56	110	4,30	85	6,30	105	3,40	95					
2	1,99	95	2,25	65	1,31	80	6,18	100	3,38	105	6,83	105	2,16	120	0,99	115	5,97	105	3,55	105	6,60	100	3,41	95					
3	2,06	90	1,68	85	1,44	70	6,32	100	3,66	100	6,37	110	2,99	90	1,29	90	6,23	100	3,44	110	6,33	105	3,45	95					
4	3,26	60	1,05	130	0,33	110	6,06	105	3,16	115	6,36	110	2,16	120	1,03	110	4,37	140	3,32	110	7,34	90	2,38	130					
5	1,89	100	1,00	130	1,66	60	6,38	100	3,99	90	10,00	70	2,61	100	0,52	125	7,91	80	6,20	70	9,43	70	3,15	100					
6	1,58	120	1,43	100	1,30	80	6,07	105	3,61	100	6,60	110	2,68	95	1,62	70	5,13	120	4,70	80	6,56	100	2,30	130					
7	1,72	110	1,69	85	1,23	85	6,31	100	3,28	110	6,56	110	2,44	105	1,94	80	6,20	100	3,39	110	5,05	120	2,78	115					
8	1,82	105	1,81	80	1,20	85	7,41	85	3,60	100	7,64	95	2,60	100	1,14	100	5,89	105	2,82	130	7,13	95	3,60	90					
9	1,79	105	1,40	100	1,13	90	7,49	85	3,82	95	6,14	115	2,70	95	1,06	105	7,20	85	2,51	135	6,85	100	4,27	80					
10	2,03	95	1,95	70	1,07	95	5,48	115	3,33	90	7,20	100	2,96	90	1,11	105	6,23	100	4,43	85	7,05	95	2,83	115					
11	2,56	75	1,55	90	0,83	120	6,11	100	4,52	80	7,50	95	2,37	110	1,22	95	5,30	120	4,85	75	7,04	95	4,11	80					
12	2,12	90	1,40	100	0,86	115	6,84	90	3,02	120	7,44	100	1,90	135	1,10	105	5,38	115	4,70	80	7,97	85	3,02	110					
13	1,38	135	1,87	75	0,89	115	5,20	120	3,47	105	8,42	85	2,43	105	0,84	135	6,39	100	3,74	100	8,01	85	2,70	120					
14	1,66	115	1,80	80	0,73	130	7,55	85	3,81	95	7,26	100	2,33	110	1,49	80	7,19	90	2,33	140	5,42	125	3,60	90					
15	2,08	90	2,19	65	1,03	100	5,04	125	3,82	95	6,63	110	2,61	100	1,12	105	5,35	115	4,00	95	6,71	100	3,87	85					
16	1,16	150	1,55	90	0,76	130	5,21	120	4,28	95	9,28	80	2,34	110	1,28	90	6,64	95	3,76	100	6,87	100	2,74	130					
17	1,66	115	1,40	100	1,23	85	5,73	110	3,36	105	7,05	100	2,46	105	1,91	80	5,39	115	4,01	95	5,50	125	3,74	85					
18	1,88	100	1,20	120	1,19	85	6,66	95	3,29	110	8,23	85	2,58	100	1,15	100	7,91	80	5,95	65	5,01	120	2,18	135					
19	4,02	50	1,43	100	0,97	105	7,66	85	2,86	125	6,23	120	3,78	90	1,46	80	6,42	95	4,90	75	7,16	95	3,37	95					
20	1,65	115	1,10	130	0,80	120	7,38	85	2,31	125	5,55	130	3,44	75	1,20	95	7,71	80	3,71	100	7,03	95	3,25	100					
21	2,69	70	1,20	120	0,80	120	6,86	90	3,19	115	7,02	100	2,71	95	1,02	110	8,03	80	3,41	110	6,26	105	2,92	110					
22	2,13	90	1,48	100	1,13	90	7,57	85	3,40	105	7,55	95	3,28	80	1,33	85	5,30	115	3,10	120	6,90	95	4,37	75					
23	2,32	80	1,37	105	0,95	110	6,39	100	3,68	100	7,20	100	2,93	90	1,03	110	6,29	100	3,13	120	6,81	105	2,91	110					
24	1,66	115	1,43	100	0,95	110	7,11	90	2,05	160	7,40	95	2,22	115	0,99	115	7,43	85	3,13	120	6,70	100	3,64	90					
25	2,32	80	1,20	120	0,84	120	6,23	100	3,61	100	7,53	95	2,43	105	1,28	90	6,50	95	5,39	70	6,57	100	3,08	105					
Z	1,29																												
e	0,05																												
TO médio	2,04		1,54		1,06		6,44		3,50		7,23		2,63		1,23		6,32		3,95		6,74		3,24						
FA médio	99		96		100		99		105		101		102		99		101		99		100		103						
Desvio P.	0,410		0,275		0,193		0,649		0,367		0,695		0,305		0,203		0,788		0,798		0,631		0,474						
N°	27		21		22		7		7		6		9		18		10		27		6		14						
26	1,77	105																					4,02	95					
27	2,1	90																					3,55	105					
TO médio	2,04																												
FA médio	98																												
Desvio P.	0,390																												
N°	24																												

Figura 83 – PM inicial: Folha de cálculo para a RD₁₁

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10	
	TO	FA	TO	FA																
1	1,55	130	1,38	110	7,36	85	4,86	95	7,38	95	3,07	105	7,18	90	3,54	120	7,80	85	3,85	105
2	3,73	80	1,15	120	7,00	90	4,29	105	6,11	115	3,05	105	6,58	95	4,09	105	6,26	105	3,16	120
3	2,15	95	1,53	95	6,41	95	4,66	95	7,13	100	3,06	105	5,92	105	4,48	95	7,14	95	5,93	65
4	2,68	75	1,50	95	3,87	150	3,94	115	6,96	100	3,73	85	4,43	140	4,22	100	6,37	105	3,55	110
5	1,95	105	1,81	80	7,07	90	4,24	110	7,08	100	4,77	75	6,56	95	4,24	100	6,65	100	3,19	120
6	2,51	80	1,50	95	4,57	135	3,67	115	8,98	80	3,56	90	7,45	85	3,88	110	7,22	90	4,16	90
7	1,61	125	1,57	90	5,36	115	4,17	110	7,76	90	3,09	105	7,90	80	4,10	105	6,80	100	2,85	130
8	2,58	80	1,44	100	7,98	75	4,05	110	6,96	100	2,69	120	5,56	115	4,66	90	6,67	100	5,39	70
9	2,16	95	1,45	100	5,58	110	4,61	100	7,04	100	2,99	110	5,61	110	4,24	100	8,44	80	2,82	130
10	1,8	110	1,41	100	5,08	120	5,22	85	4,71	130	6,07	65	7,52	85	5,17	80	5,96	110	2,83	140
11	2,03	100	1,89	75	6,83	90	6,27	75	5,93	120	3,17	100	5,54	115	5,13	85	6,37	105	3,50	110
12	1,89	105	1,86	75	5,85	105	5,03	90	6,06	115	3,39	95	5,96	105	4,61	95	5,96	110	3,52	110
13	1,17	155			6,15	100	4,54	100	6,49	110	2,82	115	6,11	105	4,12	105	8,34	80	4,97	75
14	1,23	140			6,89	90	3,50	130	9,22	75	3,39	95	7,63	85	4,32	100	7,26	90	5,29	75
15	2,4	85	1,55	90	7,63	80	3,90	115	7,02	100	3,32	100	6,57	95	4,03	105	8,12	80	3,87	100
16	2,26	90	1,49	95	4,42	140	4,51	100	8,77	80	3,24	100	5,80	110	8,39	55	4,07	150	5,59	70
17	2,48	90	1,27	110	6,46	95	5,40	85	6,15	115	2,27	130	6,32	100	4,11	105	6,33	105	4,94	80
18	2,63	80	1,01	130	6,10	100	3,95	115	8,10	85	3,37	95	5,96	105	4,97	85	7,59	90	3,34	115
19	1,92	105	1,01	130	5,58	110	4,69	100	6,89	100	3,24	100	6,92	90	4,85	85	5,79	115	3,90	100
20	2,2	90	1,24	115	5,62	110	4,20	110	7,00	100	2,85	115	6,12	105	4,20	100	6,13	110	3,84	100
21	1,47	130	1,15	125	6,87	90	5,12	90	6,54	105	4,70	75	5,70	110	5,13	85	5,90	115	3,78	100
22	1,69	120	1,43	100	7,11	85	3,89	115	7,13	100	5,30	70	7,30	85	4,66	90	7,20	90	3,52	110
23	1,29	140	1,01	130	6,41	95	4,86	95	7,21	95	2,56	125	4,50	140	7,30	60	7,41	90	4,10	95
24	1,23	140	1,20	120	4,42	140	5,14	90	8,11	85	3,10	105	6,40	100	3,55	120	6,14	110	4,52	85
25	2,1	95	1,27	110	5,97	105	6,10	75	4,98	130	3,39	95	6,55	95	3,70	115	5,63	120	5,10	75
Z	1,29																			
e	0,05																			
TO médio	2,03		1,39		6,10		4,59		7,03		3,45		6,32		4,63		6,70		4,04	
FA médio	105		104		104		101		101		99		102		96		101		99	
Desvio P.	0,442		0,200		0,870		0,548		0,762		0,595		0,694		0,689		0,767		0,770	
N°	32		14		14		9		8		20		8		15		9		24	
26	2,2	90																		
27	2,27	90																		
28	1,8	115																		
29	2,3	90																		
30	2,54	80																		
31	2,43	80																		
32	3,5	60																		
TO médio	2,12																			
FA médio																				

ANEXO 7 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE: TABELA

Categoria	Descrição	Código	Condições	Ajustamento (%)	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	Só precisa olhar casualmente Apenas visão periférica casualmente Visão periférica constante Visão próxima Bordar à mão
		J	Visão moderada	2	
		K	Constante, mas não próxima	4	
		L	Cuidadosa, bastante próxima	7	
		M	Exigência de grande acuidade visual	10	
5	Requisitos de manipulação (*)	N	Manipulação grosseira	0	Não precisa controlar a força muscular conscientemente Pode inclinar ou pousar os objectos sem cuidado Não deve bater com os objectos Os objectos podem danificar-se facilmente Os objectos podem danificar-se facilmente pela pressão normal dos dedos
		O	Apenas controlo grosseiro	1	
		P	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	2	
		Q	Manipulação com cuidado	3	
		R	Grande fragilidade	5	
6	Peso / força	Identificar pelo peso da peça, resistência a vencer ou força que é necessário exercer		Usar Figura 86	

Figura 85 - Ajustamentos de dificuldade para avaliação objetiva do desempenho, segundo Mundel (1955)

Força exercida (Kg)	Valor de base quando a força é exercida durante 5% ou menos do ciclo	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	<p>Utilize o valor de base para todas forças inferiores a kg</p> <p>Quando somar, arredonde o resultado para o valor inteiro mais próximo</p>														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	<p>Quando somar, arredonde o resultado para o valor inteiro mais próximo</p>														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															21
10,5	22	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
11	23	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
11,5	24	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
12	25	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
12,5	26	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
13	27	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
13,5	28	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
14	29	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
14,5	30	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
15	31	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
15,5	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
16	32	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
16,5	33	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,2	6,7	10,0	13,3	15	47
17	34	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
17,5	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
18	35	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
18,5	36	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
19	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
19,5	37	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
		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
Força (kg)	Valor de base	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	45	Total Máx.
		Incrementos a adicionar ao valor básico em função da percentagem que exceder 5% do ciclo														

Figura 86 - Ajustamentos de dificuldade em função da duração da força exercida expressa em percentagem da duração do ciclo (calculada a partir dos tempos observados médios), segundo Mundel (1955)

ANEXO 8 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE: PM INICIAL

Tabela 54 - Ajustamentos de dificuldade aplicados –PM inicial da RS.

	Categoria 1	Categoria 2	Categoria 3	Categoria 4	Categoria 5	Categoria 6
Elemento 1	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5kg
Elemento 3	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 5	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1kg

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5kg	3	11
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	12
Elemento 3	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 4	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 5	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 6	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	10

Figura 87 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RS.

Tabela 55 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM inicial da RS₂

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Apenas uso de dedos	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 4	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1kg

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	A	0	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	1
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	10
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 4	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	10

Figura 88 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RS₂

Tabela 56 - Ajustamentos de dificuldade aplicados – PM inicial da RD₁

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 2,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 2,5kg
Elemento 3	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 5	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 7	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 8	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 10	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 11	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 12	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 2 kg

Ajustamentos													
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		Total
	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.									
Elemento 1	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2,5kg	4	12
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	2,5kg	4	13
Elemento 3	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 4	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 5	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 6	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 7	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	12
Elemento 8	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 10	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 11	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 12	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2 kg	3	11

Figura 89 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RD₁

Tabela 57 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM inicial da RD_z

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Apenas uso de dedos	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 4	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 7	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 8	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 10	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 2 kg

	Ajustamentos												
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		Total
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	A	0	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	1
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	10
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 4	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 6	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	12
Elemento 7	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 8	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 10	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2 kg	3	11

Figura 90 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM inicial da RD_z

ANEXO 9 – CORREÇÕES: APLICAÇÃO NA PM

Tabela 58 - Correções Variáveis de Repouso aplicadas na Ripa Simples

<i>Categoria</i>	<i>Nome</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pontuação</i>
A- Esforço físico resultante da natureza do trabalho			
A1	Força desenvolvida média	Esforço médio – 0,5;1;1,5 kg	0
A2	Posição de trabalho	De pé ou andando sem entraves	4
A3	Vibrações	Não aplicável	0
A4	Ciclo curto	Não aplicável	0
A5	Vestuário de trabalho incómodo	Não aplicável	0
B- Tensão Mental			
B1	Concentração/ansiedade	Trabalhos simples	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% - 25°C	5
C2	Ventilação	Fábricas com condições de trabalho análogas aos escritórios	1
C3	Fumos e Vapores	Não aplicável	0
C4	Poeira	Operações de montagem de elementos leves	0
C5	Sujidade	Operações normais de montagem	0
C6	Humidade	Trabalho permanente em meio húmido	2
Total			21
Conversão de Pontos			13%

	Trabalhadora 1				Trabalhadora 2			
	Correções		Pontos		Correções		Pontos	
	Inicial	Nova	Inicial	Nova	Inicial	Nova	Inicial	Nova
Elemento 1	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 2	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 3	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 4	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 5	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 6	21	21	13%	13%	21		13%	
Elemento 7	24		13%					

Figura 91 - Correções Variáveis de Repouso (numéricas) aplicadas na Ripa Simples

Tabela 59 - Correções Variáveis de Repouso aplicadas na Ripa Dupla

<i>Categoria</i>	<i>Nome</i>	<i>Descrição</i>	<i>Pontuação</i>
A- Esforço físico resultante da natureza do trabalho			
A1	Força desenvolvida média	Esforço médio – 0,5;1,5;2;2,5 kg	0,3,6
A2	Posição de trabalho	De pé ou andando sem entraves	4
A3	Vibrações	Não aplicável	0
A4	Ciclo curto	Não aplicável	0
A5	Vestuário de trabalho incómodo	Não aplicável	0
B- Tensão Mental			
B1	Concentração/ansiedade	Trabalhos simples	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% - 25°C	5
C2	Ventilação	Fábricas com condições de trabalho análogas aos escritórios	1
C3	Fumos e Vapores	Não aplicável	0
C4	Poeira	Operações de montagem de elementos leves	0
C5	Sujidade	Operações normais de montagem	0
C6	Humidade	Trabalho permanente em meio húmido	2
Total			21/24/27
Conversão de Pontos			13/14/14 %

	Trabalhadora 1				Trabalhadora 2			
	Correções		Pontos		Correções		Pontos	
	Inicial	Nova	Inicial	Nova	Inicial	Nova	Inicial	Nova
Elemento 1	27	27	14%	14%	21	21	13%	13%
Elemento 2	27	27	14%	14%	21	21	13%	13%
Elemento 3	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 4	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 5	21	21	13%	13%	21	21	13%	13%
Elemento 6	21	21	13%	13%	21	24	13%	14%
Elemento 7	21	24	13%	14%	21		13%	
Elemento 8	21		13%		21		13%	
Elemento 9	21		13%		21		13%	
Elemento 10	21		13%		24		14%	
Elemento 11	21		13%					
Elemento 12	24		14%					

Figura 92 - Correções Variáveis de Repouso (numéricas) aplicadas na Ripa Dupla

ANEXO 10 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE: APLICAÇÃO À FRAME A1_MC

Tabela 60 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC: A1,

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 2,5kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 2,5kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 8	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 10	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 11	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 61 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1₁₄

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1,5 kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1,5 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 7	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5kg
Elemento 8	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 9	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 10	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 11	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 12	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 62 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1.

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5kg
Elemento 3	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 2,5kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 2,5kg
Elemento 7	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5kg
Elemento 8	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 9	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 10	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 11	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 12	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 13	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 63 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MC - A1₁₆

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1,5 kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1,5 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 8	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0.5kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 10	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	7
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1 kg	2	14
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	2,5 kg	4	9
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	2,5 kg	4	16
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	6
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	13
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	14
Elemento 8	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	11
Elemento 10	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 11	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20

Figura 93 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - A1₁₃

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5 kg	3	8
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5 kg	3	15
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	7
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1 kg	2	14
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5 kg	3	8
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5 kg	3	15
Elemento 7	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	6
Elemento 8	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	13
Elemento 9	E	8	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	14
Elemento 10	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8
Elemento 11	D	5	F	0	H	1	K	4	O	1	0,5 kg	1	12
Elemento 12	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20

Figura 94 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - A1₁₄

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1kg	2	7
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5kg	1	6
Elemento 3	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1kg	2	14
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5kg	1	13
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	2,5kg	4	9
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	2,5kg	4	16
Elemento 7	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5kg	1	6
Elemento 8	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5kg	1	13
Elemento 9	E	8	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	14
Elemento 10	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	8
Elemento 11	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	11
Elemento 12	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5kg	1	4
Elemento 13	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20

Figura 95 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - A1₁₅

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5kg	3	8
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	15
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1kg	2	7
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1kg	2	14
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5kg	3	8
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	15
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	14
Elemento 8	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	8
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5kg	1	11
Elemento 10	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20

Figura 96 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MC - A1₁₆

ANEXO 11 – FOLHAS DE CÁLCULO PARA A CRONOMETRAGEM DA MC (FRAME A1)

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA																
1	1,16	100	1,02	130	1,80	125	3,67	110	1,07	115	1,49	110	18,32	110	21,42	95	30,20	90	1,28	110	8,69	100
2	1,13	100	1,58	95	2,68	85	5,89	70	1,28	95	1,22	130	20,85	95	19,42	105	29,60	95	1,78	80	8,41	105
3	1,12	100	1,54	95	2,14	105	3,79	105	1,61	75	1,35	120	19,34	105	20,19	100	26,34	105	1,50	95	9,68	90
4	0,99	115	1,61	90	3,25	70	4,73	85	1,17	105	1,70	95	19,45	105	18,20	110	28,77	95	1,27	110	10,92	80
5	0,92	120	0,89	150	2,07	110	4,22	95	1,07	115	1,33	120	20,87	95	19,31	105	26,86	105	1,92	75	8,67	100
6	1,20	95	1,11	130	2,34	100	3,41	120	1,70	70	1,10	150	17,57	115	21,21	95	24,40	115	1,23	115	9,06	95
7	1,32	85	1,26	115	1,93	115	3,51	115	1,63	75	2,06	80	19,53	105	17,30	115	23,80	115	1,41	100	8,72	100
8	0,99	115	1,42	105	2,23	100	4,15	100	1,50	80	1,52	110	16,42	120	19,76	100	28,74	95	1,17	120	9,99	85
9	1,19	95	1,28	115	1,66	135	3,87	105	1,19	100	1,78	90	22,75	90	20,47	100	25,41	110	1,12	125	13,13	70
10	0,95	120	1,22	120	2,33	100	3,85	105	1,09	110	2,39	70	25,36	80	20,76	95	28,06	100	1,08	130	8,18	105
11	1,57	75	1,83	80	1,81	125	3,72	108	1,76	70	1,73	95	20,43	100	19,23	105	34,18	80	1,60	90	7,23	120
12	0,95	120	2,19	70	2,38	95	4,23	95	1,09	110	1,37	120	22,83	90	21,01	95	28,76	95	1,17	120	6,81	125
13	0,88	125	1,88	80	2,52	90	4,48	90	1,08	115	1,59	100	19,85	100	26,42	75	23,48	115	1,40	100	9,72	90
14	0,95	120	2,02	75	2,64	85	4,47	90	1,22	100	1,76	95	22,67	90	19,45	105	25,19	110	1,71	85	8,94	95
15	1,50	75	1,38	105	1,39	150	3,58	110	1,21	100	2,23	75	25,07	80	22,52	90	27,58	100	1,60	90	7,68	115
16	1,25	90	1,72	85	2,40	95	4,60	85	1,80	95	1,70	95	18,64	110	17,47	115	29,95	95	1,40	100	7,31	120

Z	1,29																						
e	0,05																						
TO médio	1,13	1,50	2,22	4,13	1,31	1,65	20,62	20,26	27,58	1,42	8,95												
FA médio	103	103	105	99	96	103	99	100	101	103	100												
Desvio P.	0,161	0,299	0,345	0,462	0,206	0,274	2,006	1,500	2,200	0,203	1,103												
N°	13	27	16	8	16	18	6	4	4	14	10												

17			1,67	90							1,80	90											
18			1,46	100							1,55	105											
19			1,32	110																			
20			1,6	95																			
21			1,54	95																			
22			1,13	130																			
23			1,55	95																			

TO médio			1,49								1,65											
FA médio			102								103											
Desvio P.			0,250								0,257											
N°			19								16											

Figura 98 – MC: Folha de cálculo para a A1₇₂

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11		Elemento 12	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA																
1	1,06	150	2,62	110	1,55	125	1,06	125	1,31	150	3,81	85	2,21	110	1,18	140	24,52	110	19,56	105	25,07	105	6,07	110
2	1,05	150	2,88	100	1,58	120	1,14	120	1,70	115	3,08	105	2,18	110	1,96	85	30,77	85	23,42	85	25,85	105	6,14	105
3	1,71	100	3,04	95	2,20	90	1,03	130	1,61	120	3,74	85	2,43	100	1,38	120	25,34	105	19,86	100	23,35	115	6,76	95
4	3,44	50	3,13	90	1,75	110	1,53	90	2,45	80	3,25	100	1,98	120	1,99	85	26,79	100	20,06	100	27,64	95	7,65	85
5	1,50	115	2,80	100	2,51	80	1,14	120	1,31	150	3,05	105	2,65	95	1,76	95	22,02	120	22,40	90	29,79	90	7,09	95
6	3,90	50	2,76	105	2,50	80	1,45	95	2,28	85	3,75	85	3,17	80	1,79	95	31,01	85	19,06	105	22,19	120	6,99	95
7	1,95	90	3,67	80	1,90	100	1,03	130	1,68	120	3,49	90	2,03	120	1,87	90	26,06	105	26,98	75	31,78	85	8,02	80
8	1,09	150	2,87	100	1,31	150	1,40	95	1,78	110	2,99	110	3,10	80	1,13	150	21,40	125	26,09	80	30,59	85	7,28	90
9	1,23	140	2,92	100	1,60	120	1,18	115	2,30	85	3,11	105	2,14	115	1,68	100	26,67	100	22,02	90	26,02	105	6,65	100
10	1,73	100	3,54	80	2,33	85	1,58	85	2,21	90	3,28	100	2,48	100	1,95	85	33,19	80	19,03	105	26,14	100	6,37	105
11	2,02	85	3,23	90	2,19	90	1,34	100	2,22	90	3,56	90	2,52	95	1,91	85	24,91	110	18,28	110	26,05	105	6,27	105
12	1,77	95	1,85	150	1,83	105	0,95	140	2,44	80	3,02	105	2,81	85	1,33	120	26,98	100	21,05	95	27,32	100	5,34	120
13	1,91	90	2,21	130	1,97	100	1,41	95	1,41	140	3,15	100	2,39	105	1,52	110	28,13	95	18,64	110	29,00	90	6,57	100
14	1,37	125	2,40	120	1,84	105	1,57	85	1,94	105	3,49	90	2,61	95	1,13	150	31,46	85	22,00	90	28,04	95	6,56	100
15	1,46	115	2,72	105	2,05	95	1,36	100	2,04	100	3,20	100	2,51	95	1,66	100	27,81	95	20,60	100	29,83	90	5,68	115
16	2,05	85	3,26	90	2,84	70	1,41	95	2,37	85	3,08	105	2,26	110	1,18	140	28,69	95	19,13	105	24,89	105	5,96	110

Z	1,29																							
e	0,05																							
TO médio	1,83	2,87	2,00	1,29	1,94	3,32	2,47	1,59	27,23	21,14	27,10	6,59												
FA médio	106	103	102	108	107	98	101	109	100	97	101	101												
Desvio P.	0,538	0,340	0,330	0,184	0,348	0,243	0,264	0,284	2,552	2,012	2,152	0,541												
N°	58	9	18	14	21	4	8	21	6	6	4	4												

17	1,23	140			1,43	130			1,33	150					1,94	90									
18	2,56	70			2,01	95			1,86	105					1,67	100									
19	1,16	140							2,04	100					1,44	115									
20	1,92	90							2,16	90					1,39	120									
21	1,30	130							1,67	120					1,51	110									
22	1,40	120																							
23	1,99	120																							

TO médio	1,75			1,97		1,91			1,59						1,59									
FA médio	109			103		108			108						109									
Desvio P.	0,503			0,323		0,328			0,257						0,257									
N°	55			18		20			17						17									

Figura 97 – MC: Folha de cálculo para a A1₇₄

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11		Elemento 12		Elemento 13	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA																
1	1,36	110	1,29	120	2,99	80	2,82	100	2,48	100	3,88	100	2,51	90	3,84	75	26,33	120	25,67	85	26,75	105	1,59	90	5,67	110
2	1,77	85	1,63	100	2,46	95	3,23	85	2,29	110	3,81	100					27,06	115	21,91	100	25,45	110	1,41	100	5,18	120
3	1,67	90	2,75	60	1,96	120	2,77	100	2,25	110	3,58	105	2,22	100	2,57	110	30,79	105	23,13	95	27,56	100	1,75	80	7,43	85
4	2,12	70	1,62	100	1,96	120	1,64	150	2,03	120	3,22	120	2,61	85	2,89	100	31,49	100	23,95	90	23,87	120	1,39	105	6,77	90
5	1,57	95	1,54	105	2,09	115	2,51	110	2,12	115	4,03	95	1,56	140	2,30	125	29,77	105	21,03	105	29,19	95	1,30	110	8,88	70
6	1,22	120	1,55	105	2,67	90	3,46	80	2,45	100	3,25	120	2,20	100	2,07	140	34,17	95	20,89	105	34,10	80	1,48	95	5,94	105
7	2,55	60	1,97	80	1,91	125	2,07	130	3,07	80	6,01	70	2,20	100	3,47	85	32,12	100	21,27	100	29,97	95	1,46	100	6,18	100
8	1,33	110	1,59	100	2,31	100	2,84	100	2,80	90	4,51	85	1,87	120	4,21	70	29,37	110	21,23	100	32,58	85	1,61	90	6,18	100
9	1,70	85	1,52	105	3,49	70	3,34	85	3,28	75	6,36	60	2,23	100	3,00	95	34,99	90	26,02	85	27,48	100	1,40	105	9,74	65
10	1,29	115	1,85	90	3,13	75	2,60	110	2,62	95	3,74	105	1,49	130	2,79	105	32,06	100	20,69	105	31,20	90	1,33	110	8,91	70
11	1,02	140	1,82	90	3,56	70	1,98	140	2,60	95	4,40	85	1,26	150	3,14	90	32,66	95	25,71	85	26,04	110	1,42	100	5,90	105
12	1,19	120	1,27	125	1,65	140	3,19	90	2,22	110	3,53	110	1,98	110	2,83	100	35,25	90	19,58	110	28,70	100	1,47	100	5,69	110

Z	1,29																										
e	0,05																										
TO médio	1,57		1,70		2,52		2,70		2,52		4,19		2,01		3,01		31,34		22,59		28,57		1,47			6,87	
FA médio		98				107		100		96		111		100		102		102		97		99		99		94	
Desvio P.	0,331		0,265		0,544		0,453		0,297		0,751		0,345		0,476		2,229		1,921		2,383		0,094			1,245	
N°	30		16		31		19		9		21		20		17		3		5		5		3			22	

13	1,98	75	1,73	95	2,43	100	3,14	90		4,2	90	2,19	100	3,15	95											6,68	95
14	1,50	100	1,97	80	2,65	90	2,55	110		4,98	75	1,8	120	4,13	70											6,83	90
15	1,16	120	1,54	105	3,1	75	2,83	100		100	100	1,95	115	2,50	115											7,61	80
16	1,34	110	1,58	100	3,12	75	2,12	130		3,18	120	2,23	100	2,53	115											8,7	70
17	2,10	70			1,88	125	2,86	100		3,55	110	2,02	110	3,10	95											5,8	105
18	1,43	100			2,36	100	3,05	90		3,6	105	1,8	120													5,94	105
19	1,36	110			2,8	85	2,77	100		4,51	85	1,86	120													6,12	100
20	2,20	70			2,26	105				6,02	70		2,35	95												6,63	95
21	1,30	110			2,5	95				5,13	75															5,93	105

TO médio	1,58		1,70		2,54		2,47			4,22		1,92		3,03												6,80
FA médio		98			98		87			95		105		99						97		99		99		94
Desvio P.	0,329		0,235		0,445		0,379			0,673		0,272		0,476						1,921		2,383		0,094		1,245
N°	29		13		21		16			17		13		16						5		5		3		14

22	1,30	110																									
23	1,46	100																									
24	2,13	70																									
25	1,70	85																									
26	1,98	75																									
27	2,01	75																									
28	1,32	110																									
29	1,58	95																									

TO médio	1,61																										
FA médio		96																									
Desvio P.	0,318																										
N°	26																										

Figura 100 – MC: Folha de cálculo para a AI₁₅

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10	
	TO	FA	TO	FA																
1	2,35	70	2,48	130	3,03	85	1,80	95	3,64	75	2,82	120	27,03	105	22,20	95	32,94	110	7,43	110
2	2,05	80	2,43	140	2,19	115	1,79	95	2,23	120	2,77	125	25,16	110	19,82	105	35,80	100	6,65	120
3	1,46	110	3,55	95	2,54	100	1,58	110	3,67	75	3,22	105	29,34	95	21,90	95	36,59	100	7,77	105
4	1,53	105	2,66	125	2,87	90	1,76	100	3,81	70	2,98	115	27,67	100	20,50	100	37,55	95	11,52	70
5	1,67	95	3,19	105	2,58	100	1,76	100	2,69	100	3,43	100	27,76	100	20,58	100	35,72	100	8,49	95
6	1,57	105	3,91	90	2,48	105	1,65	105	2,72	100	3,46	100	25,96	110	17,90	115	38,00	95	7,92	105
7	1,15	130	2,91	115	2,93	90	1,67	105	2,52	105	4,56	75	31,80	90	20,74	100	37,00	100	8,52	95
8	1,70	95	3,35	100	2,20	115	1,58	110	2,96	90	3,86	90	25,26	110	20,92	100	34,68	105	6,80	120
9	1,43	115	3,64	95	2,11	120	1,17	140	2,13	125	4,05	85	30,91	90	18,98	110	39,20	95	9,92	85
10	2,12	75	4,96	70	2,54	100	1,90	90	2,65	100	3,81	90	29,57	95	21,33	95	39,41	95	9,60	85
11	2,22	75	3,72	90	2,99	85	2,93	60	2,53	110	4,09	85	28,70	100	22,31	95	36,59	100	7,54	110
12	1,33	120	3,43	100	3,71	70	1,73	100	2,79	95	3,34	105	28,25	100	19,43	105	36,21	100	8,80	95

Z	1,29																										
e	0,05																										
TO médio	1,72		3,35		2,68		1,78		2,86		3,53		28,12		20,55		36,64		8,41								
FA médio		98		105		98		101		97		100		100		101		100		100						100	
Desvio P.	0,313		0,516		0,354		0,219		0,439		0,451		1,644		1,021		1,326		1,062								
N°	22		16		12		10		16		11		2		2		1		11								

13	1,50	110	3,33	100					2,22	120																	
14	1,06	140	3,48	95					2,62	100																	
15	2,38	70	2,6	130					2,41	110																	
16	1,80	90	2,48	135					2,14	125																	
17	1,67	95																									
18	2,11	75																									

ANEXO 12 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE: APLICAÇÃO À FRAME A1_MF

Tabela 64 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1.

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1 kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 8	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 1 kg
Elemento 10	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 11	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 65 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1₃₅

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 3,5 kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 3,5 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1 kg
Elemento 7	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 8	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 1 kg
Elemento 9	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 10	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 66 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_ MF - A1₃₀

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 2	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1 kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 8	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 2 kg
Elemento 9	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 1 kg
Elemento 10	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 11	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 12	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

Tabela 67 - Ajustamentos de dificuldade aplicados_MF - A1₁₀₀

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 3,5 kg
Elemento 4	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 3,5 kg
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 1 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1 kg
Elemento 7	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Manipulação com cuidado	Esforço de 1 kg
Elemento 8	Cotovelo, antebraço e mão	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Apenas controlo grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 9	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação com cuidado	Esforço de 4,5 kg

	Ajustamentos													Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6			
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.		
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	J	2	Q	3	2 kg	3	13	
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	2 kg	3	14	
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	J	2	N	0	1 kg	2	9	
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	1 kg	2	12	
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	0,5 kg	1	9	
Elemento 6	D	5	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	8	
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	0,5 kg	1	11	
Elemento 8	D	5	F	0	H	0	J	2	Q	3	2 kg	3	13	
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	1 kg	2	10	
Elemento 10	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8	
Elemento 11	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20	

Figura 102 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1₇

	Ajustamentos													Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6			
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.		
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	6	
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	13	
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	3,5 kg	7	15	
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	Q	3	3,5 kg	7	20	
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	7	
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	1 kg	2	12	
Elemento 7	B	1	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	2	
Elemento 8	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	1 kg	2	10	
Elemento 9	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8	
Elemento 10	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20	

Figura 103 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1₈

	Ajustamentos													Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6			
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.		
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	J	2	Q	3	2 kg	3	13	
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	2 kg	3	14	
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	J	2	N	0	1 kg	2	9	
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	1 kg	2	12	
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	8	
Elemento 6	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	0,5 kg	1	9	
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	0,5 kg	1	11	
Elemento 8	D	5	F	0	H	0	J	2	Q	3	2 kg	3	13	
Elemento 9	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	1 kg	2	10	
Elemento 10	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8	
Elemento 11	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4	
Elemento 12	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20	

Figura 104 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1₉

	Ajustamentos													Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6			
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.		
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5 kg	1	6	
Elemento 2	E	8	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5 kg	1	13	
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	3,5 kg	7	15	
Elemento 4	E	8	F	0	H	0	J	2	Q	3	3,5 kg	7	20	
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	7	
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	I	0	P	2	1 kg	2	12	
Elemento 7	D	5	F	0	H	0	I	0	Q	3	1 kg	2	10	
Elemento 8	C	2	F	0	H	0	K	4	O	1	0,5 kg	1	8	
Elemento 9	E	8	F	0	H	0	I	0	Q	3	4,5 kg	9	20	

Figura 105 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) _MF - A1₁₀

ANEXO 13 – FOLHAS DE CÁLCULO PARA A CRONOMETRAGEM DA MF (FRAME A1)

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA																
1	2,06	110	3,76	130	2,98	105	5,85	105	3,76	105	2,43	80	3,32	100	3,19	80	5,65	75	23,43	140	6,40	110
2	1,71	90	3,12	115	2,80	100	4,09	80	3,44	95	1,84	70	2,69	80	5,66	130	5,24	70	15,64	100	4,37	75
3	2,20	115	1,99	80	2,80	100	5,60	100	3,52	95	3,05	100	3,37	100	4,43	115	8,98	115	13,13	85	5,09	90
4	1,88	100	3,02	110	2,79	100	5,54	100	4,93	130	3,27	105	3,47	105	4,81	120	7,04	90	16,11	105	5,64	95
5	2,20	115	3,82	135	3,60	120	6,63	120	3,57	100	2,42	80	4,58	130	3,76	95	7,20	95	15,95	105	5,45	95
6	1,45	80	3,38	125	2,04	75	4,16	85	3,50	95	3,91	120	4,12	120	3,81	95	8,00	105	13,29	85	5,72	100
7	1,19	70	2,71	100	2,04	75	6,32	115	4,21	115	3,86	120	2,91	85	3,98	100	9,30	120	13,69	90	8,79	130
8	1,88	100	3,38	125	2,80	100	5,60	100	3,57	100	3,05	100	3,37	100	3,96	100	7,20	95	17,96	115	5,65	95
9	1,43	80	2,60	95	2,79	100	3,90	75	3,64	100	3,05	100	2,49	75	3,47	90	6,28	80	12,92	85	6,13	105
10	1,83	100	2,51	95	2,99	105	8,46	130	3,12	85	2,93	95	2,65	80	3,75	95	8,11	105	15,11	95	5,89	100
11	2,09	110	1,95	80	3,59	120	5,27	95	3,71	100	4,00	125	3,45	100	5,00	135	7,96	105	17,98	115	6,55	115
12	1,75	95	2,30	85	3,67	125	6,78	125	4,96	130	3,00	100	4,07	120	3,92	100	7,73	100	15,52	100	5,80	100
13	1,99	105	2,59	95	2,94	105	3,63	75	4,86	135	3,19	105	3,50	105	3,78	95	7,96	105	13,40	85	6,55	115
Z	1,29																					
e	0,05																					
TO médio	1,62		2,06		2,31		5,53		3,91		3,08		3,38		4,12		7,43		15,70		6,00	
FA médio	98		105		102		107		107		100		100		104		97		100		102	
Desvio P.	0,242		0,514		0,355		1,012		0,513		0,438		0,444		0,528		0,923		1,987		0,678	
N	12		22		10		22		11		13		11		11		10		11		8	
14			2,70	100			5,63	100														
15			3,12	115			6,12	110														
16			3,25	125			4,3	80														
17			2,63	95			6,45	115														
18			2,79	100			5,38	95														
19			4,00	140			4,57	85														
20			3,86	135			6,23	110														
21			3,50	130			5,12	90														
22			2,87	105			6,15	110														
TO médio			2,99				5,54															
FA médio			110				100															
Desvio P.			0,480				0,854															
N			17				16															

Figura 106 - MF: Folha de cálculo para a A1₁₇

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10			
	TO	FA	TO	FA																		
1	1,68	85	2,66	120	2,36	80	3,47	85	2,44	120	4,12	85	1,09	100	6,75	100	12,03	120	6,87	105		
2	1,91	100	2,21	105	2,42	85	4,92	115	1,99	100	4,94	100	1,10	100	5,00	75	11,65	120	5,44	85		
3	1,97	100	1,98	95	4,32	140	4,91	115	2,27	115	4,37	90	1,36	120	6,29	95	10,97	110	6,27	95		
4	1,67	85	2,47	120	3,33	130	3,43	80	2,58	125	4,96	100	1,18	110	6,18	90	12,63	130	6,06	95		
5	2,20	115	3,03	140	2,96	100	3,33	80	1,68	85	5,67	115	1,07	95	7,45	110	11,69	120	6,22	95		
6	2,11	110	1,67	80	2,69	95	4,43	105	1,99	100	5,97	120	1,06	95	6,34	95	9,69	100	7,36	110		
7	1,37	75	3,10	140	2,55	90	3,60	85	1,63	80	6,59	125	1,10	100	6,14	90	9,44	95	8,00	120		
8	2,19	110	2,48	120	3,36	110	4,27	100	1,74	85	5,96	120	1,59	130	6,54	95	9,56	100	7,38	115		
9	1,47	80	1,75	85	2,55	90	4,20	100	2,70	130	4,86	100	1,02	95	8,50	120	9,63	100	8,99	130		
10	2,28	120	2,02	95	2,46	85	4,07	95	2,07	105	4,43	90	1,24	115	8,63	125	9,67	100	5,41	85		
11	1,93	100	1,47	75	2,40	85	4,38	105	1,92	95	4,67	95	1,45	125	9,48	130	9,44	95	6,21	95		
12	1,71	90	1,72	80	2,98	100	5,52	120	2,06	105	5,14	105	1,20	110	7,00	105	10,92	110	6,50	100		
13	1,99	105	2,87	130	3,65	120	3,91	90	1,73	85	4,03	80	1,10	100	7,51	110	7,29	75	8,32	125		
Z	1,29																					
e	0,05																					
TO médio	1,88		2,26		2,97		4,19		2,06		5,05		1,20		7,06		10,35		6,85			
FA médio	98		107		101		98		102		102		107		103		106		104			
Desvio P.	0,233		0,466		0,520		0,510		0,270		0,624		0,132		0,963		1,194		0,897			
N	10		28		20		10		11		10		8		12		9		11			
14			1,79	85	3,07	105																
15			1,94	95	3,45	120																
16			1,35	95	2,95	100																
17			2,49	120	4,04	135																
18			2,10	100	2,02	70																
19			2,73	125	2,20	75																
20			2,08	100	2,82	100																
TO médio			2,23		2,96																	
FA médio			105,25		100,75																	
Desvio P.			0,403		0,513																	
N			22		20																	
21			2	96																		
22			2,79	133																		
TO médio			2,24																			
FA médio			106,10																			
Desvio P.			0,405																			
N			22																			

Figura 107 - MF: Folha de cálculo para a A1₁₈

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9		Elemento 10		Elemento 11		Elemento 12	
	TO	FA	TO	FA	TO	FA	TO	FA																
1	1,43	100	2,97	125	2,80	120	5,35	120	2,33	90	4,35	100	2,80	75	2,69	75	5,10	100	10,80	110	1,19	90	5,17	95
2	1,25	90	2,26	100	2,20	105	3,89	100	3,13	120	5,59	120	3,64	100	3,23	90	5,24	105	8,89	90	1,09	80	5,51	100
3	1,47	105	2,13	95	2,30	110	3,80	100	2,88	115	5,28	115	2,86	75	3,11	90	4,47	90	10,16	105	1,35	100	5,27	95
4	1,41	100	2,57	115	1,79	85	4,45	115	2,12	85	4,40	100	3,52	95	4,47	120	5,69	110	8,69	90	1,24	90	6,25	115
5	1,16	80	2,20	95	1,79	85	3,12	80	2,97	120	3,97	90	4,63	120	3,69	105	4,35	85	9,64	100	1,42	105	6,10	110
6	1,40	100	2,73	120	2,28	110	3,58	90	2,27	90	4,38	110	3,81	100	3,65	105	5,08	100	10,50	110	1,44	105	5,78	115
7	1,52	140	2,40	105	1,64	80	4,11	105	2,52	100	4,11	95	3,80	100	3,52	100	4,71	95	9,22	95	1,35	100	5,47	100
8	1,21	85	1,91	85	2,07	100	3,80	100	2,52	100	4,30	100	3,73	100	3,28	95	4,21	80	8,64	90	1,32	100	4,48	80
9	1,42	100	2,19	95	1,96	95	3,27	85	2,07	80	5,12	115	3,67	100	4,83	125	6,52	120	11,52	120	1,40	105	6,66	120
10	1,68	120	3,05	130	1,82	90	4,16	105	2,36	95	5,80	130	3,80	100	2,93	85	5,48	110	9,02	95	1,43	105	4,34	90
11	1,09	75	2,04	90	2,18	105	4,07	105	3,17	120	5,76	125	4,94	125	3,50	100	4,80	95	9,78	100	1,20	90	5,64	100
Z	1,29																							
e	0,05																							
TO médio	1,37		2,40		2,08		3,96		2,58		4,82		3,75		3,54		5,06		9,71		1,31		5,52	
FA médio	100		105		99		100		101		109		99		99		99		100		97		102	
Desvio P.	0,138		0,309		0,251		0,422		0,335		0,624		0,410		0,454		0,501		0,761		0,096		0,519	
N°	7		11		10		8		11		11		8		11		7		4		4		6	

Figura 108 - MF: Folha de cálculo para a A1₁₉

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7		Elemento 8		Elemento 9	
	TO	FA																
1	1,80	95	6,60	100	1,94	85	3,57	80	1,77	90	7,81	120	5,38	90	10,65	90	5,02	105
2	1,84	95	7,93	120	2,00	90	4,59	100	2,23	115	7,79	120	6,34	110	13,42	115	4,61	95
3	1,89	100	6,55	100	2,04	90	4,77	105	1,76	90	6,87	110	7,68	120	11,83	100	4,21	90
4	2,29	120	5,15	80	2,45	110	4,75	105	1,94	100	6,38	100	5,63	95	12,32	105	4,21	90
5	2,37	125	6,35	95	2,81	120	3,56	80	2,07	105	6,79	105	6,67	115	10,76	90	4,00	85
6	1,83	95	6,64	100	2,26	100	4,53	100	2,03	105	6,39	100	5,31	90	13,46	115	4,93	105
7	2,42	125	5,62	85	2,78	120	4,27	95	2,15	110	5,23	80	5,46	95	10,62	90	6,16	125
8	2,20	115	6,50	100	2,07	90	4,80	105	2,51	120	6,03	95	5,86	100	12,73	110	5,57	115
9	1,55	80	7,22	110	2,95	125	4,19	90	1,82	95	5,88	90	5,99	100	11,87	100	4,01	85
10	1,55	80	6,55	100	2,06	90	5,97	120	1,94	100	5,78	90	7,76	120	11,71	100	5,67	120
11	1,92	100	6,02	90	2,35	105	6,15	125	1,56	80	5,83	90	5,85	100	10,88	90	4,77	100
Z	1,29																	
e	0,05																	
TO médio	1,97		6,47		2,34		4,65		1,98		6,43		6,18		11,84		4,83	
FA médio	103		98		102		100		101		100		103		100		101	
Desvio P.	0,255		0,496		0,301		0,580		0,198		0,640		0,681		0,836		0,579	
N°	11		4		11		10		7		7		8		3		10	

Figura 109 - MF: Folha de cálculo para a A1₁₀

ANEXO 14 – RULA: APLICAÇÃO À FRAME B3_M

Tabela 68 - RULA_B3: Aplicação ao elemento 1

Elemento 1: Colocar as ripas amarelas (TO: 1,74)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	-20° a 20°	+1
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	>15°	+3
3a: Ajustar	Existe abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		3
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		3
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	10° a 20°	+2
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés mal apoiados	+2
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		3
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		3
Pontuação Final		3



Figura 110 - RULA_B3: Elemento 1

Tabela 69 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 2

Elemento 2: Pegar nas ripas cinzentas (TO: 3,34)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	-	+0
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		3

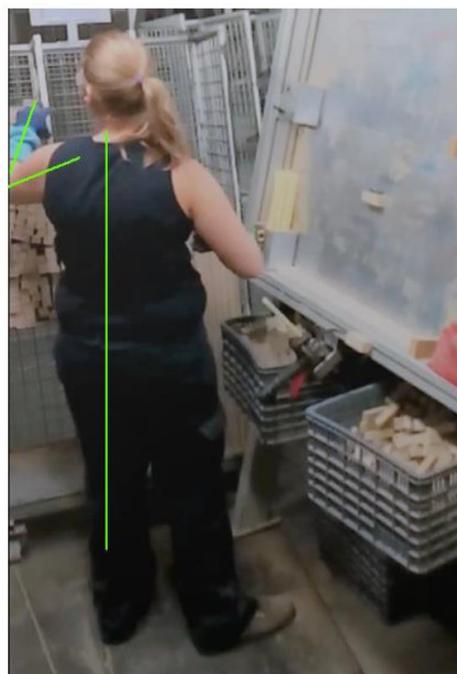


Figura 111 - RULA_ B3: Elemento 2

Tabela 70 - RULA_B3: Aplicação ao elemento 3

Elemento 3: Colocar as ripas amarelas no tabuleiro em cima (TO: 2,26)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	>15°	+3
3a: Ajustar	Existe abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		5
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		5
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		4

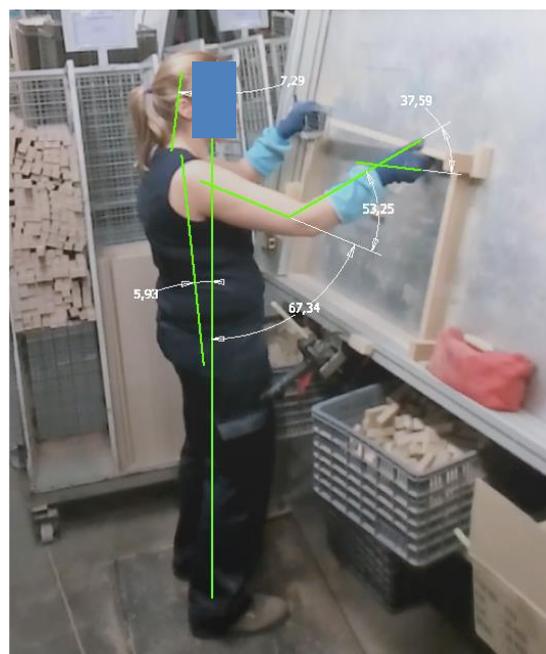


Figura 112 - RULA_B3: Elemento 3

Tabela 71 - RULA_B3: Aplicação ao elemento 4, 10 e 12

Elemento 4/10/12: Selecionar e pousar cubos, cubos e cubos (TO: 6,22; 3,29; 3,73)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	Cruza a linha central do corpo	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Existe abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	Postura repetida 4x/min ou mais	+1
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		5
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	20° a 60°	+3
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		6
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	Postura repetida 4x/min ou mais	+1
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		7
Pontuação Final		7



Figura 113 - RULA_B3: Elemento 4/10/12

Tabela 72 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 5, 7, 9 e 13

Elemento 5/7/9/13: Aplicar cola nos cubos, no canto inferior esquerdo e nos cubos (TO: 2,14; 2,7; 2,18; 2,44)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	-20° a 20°	+1
1a: Ajustar	Há abdução	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	O antebraço trabalha na parte lateral	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	Há abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		3
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	Postura repetida 4x/min ou mais	+1
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	Há inclinação	+1
	Há rotação	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		7
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	Postura repetida 4x/min ou mais	+1
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		8
Pontuação Final		6



Figura 114 - RULA_ B3: Elemento 5/7/9/13

Tabela 73 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 6 e 8

Elemento 6/8: Fixar cubos (direta/esquerda) (TO: 4,11; 3,59)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	>90°	+4
1a: Ajustar	Há abdução	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	-15° a 0°	+3
3a: Ajustar	Existe abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		6
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		6
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	0° a 20°	+2
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		4

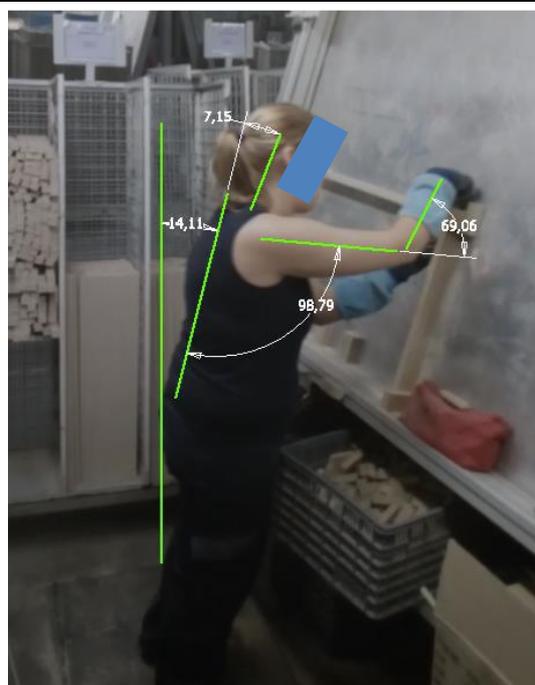


Figura 115 - RULA_ B3: Elemento 6/8

Tabela 74 - RULA_B3: Aplicação ao elemento 11 e 14

Elemento 11/14: Fixar cubos azuis e verdes (TO: 2,44; 4,44)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	-20° a 20°	+1
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	O antebraço cruza a linha central do corpo	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	-	+0
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		2
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		2
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	0° a 20°	+2
10a: Ajustar	Há inclinação	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		6
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		6
Pontuação Final		5

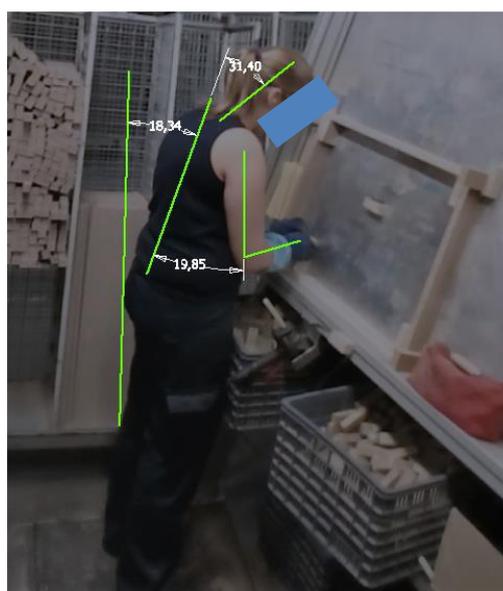


Figura 116 - RULA_B3: Elemento 11/14

Tabela 75 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 15

Elemento 15: Fazer anotação (TO: 1,25)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	-15° a 0°	+3
3a: Ajustar	-	+0
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeiro	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	10° a 20°	+2
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	0° a 20°	+2
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura bem equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		3

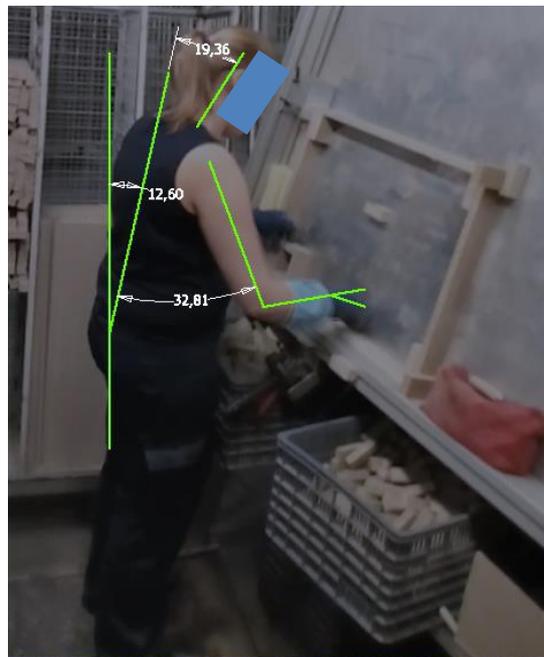


Figura 117 - RULA_ B3: Elemento 15

Tabela 76 - RULA_ B3: Aplicação ao elemento 16

Elemento 16: Colocar as <i>frames</i> prontas na palete (TO: 3,56)		
Grupo A: Análise dos Braços e Punho		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Há abdução	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	>60°	+4
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés mal apoiados e postura instável	+2
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		5
Pontuação Final		5

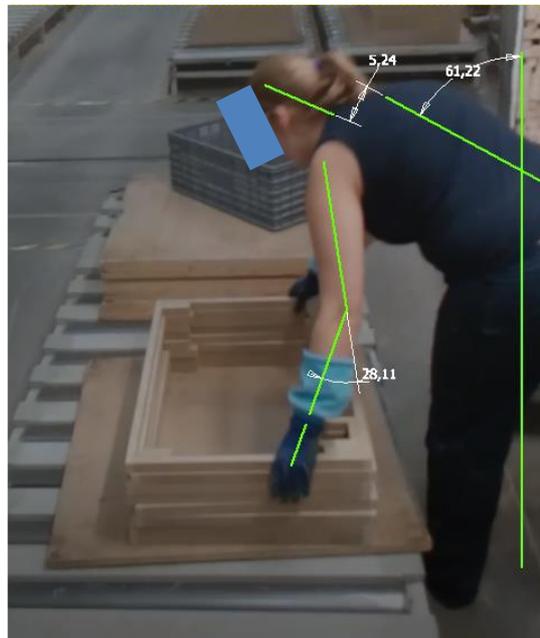


Figura 118 - RULA_ B3: Elemento 16

ANEXO 15 – RULA: APLICAÇÃO À FRAME B2_M

Tabela 77 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 1

Elemento 1: Pegar nas ripas azuis (TO: 2,35)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		3
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		3
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	10° a 20°	+2
9a: Ajustar	Há rotação lateral do pescoço e inclinação	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	0° a 20°	+2
10a: Ajustar	Há rotação lateral do tronco	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		6
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+1
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		7
Pontuação Final		6

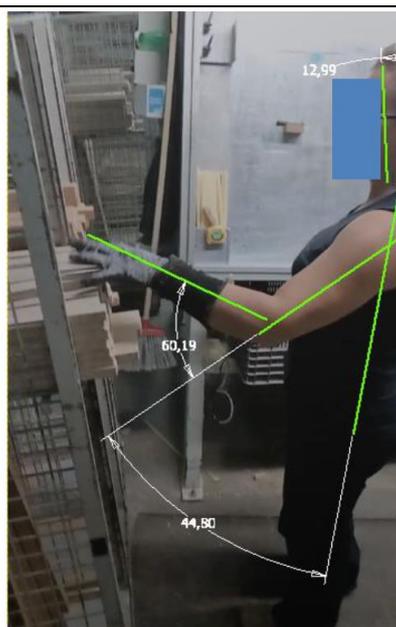


Figura 119 - RULA_B2: Elemento 1

Tabela 78 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 2

Elemento 2: Pegar nas ripas verdes (TO: 7,2)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Ombro levantado	+1
	Abdução	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
	Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A	6
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 8: Linha na Tabela C	6
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	20° a 60°	+3
10a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés mal apoiados e em postura instável	+2
	Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B	7
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 15: Coluna na Tabela C	7
	Pontuação Final	7

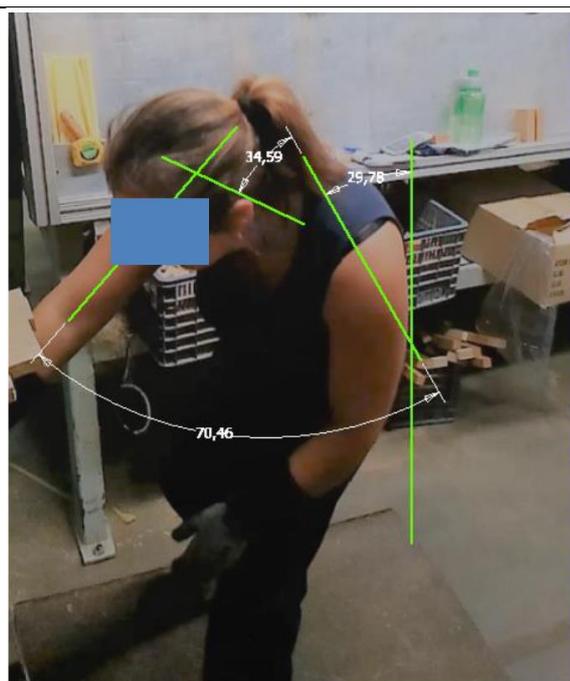


Figura 120 - RULA_B2: Elemento 2

Tabela 79 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 3

Elemento 3: Colocar as ripas azuis no topo (TO: 2,96)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	>90°	+4
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
	Ombro levantado	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
	Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A	8
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 8: Linha na Tabela C	8
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	<0°	+4
9a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
	Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B	
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 15: Coluna na Tabela C	8
	Pontuação Final	7

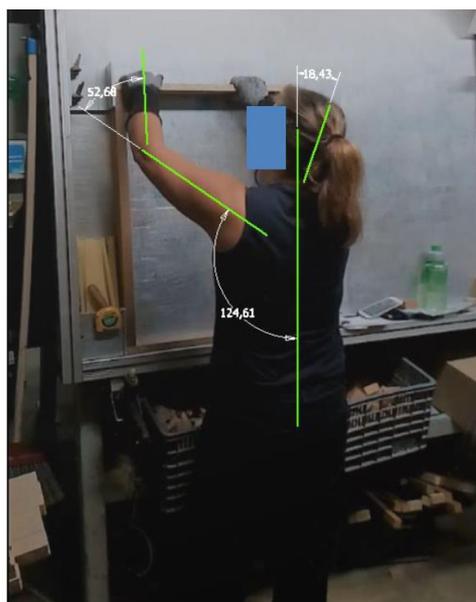


Figura 121 - RULA_B2: Elemento 3

Tabela 80 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 4, 5, 11 e 16

Elemento 4/5/11/16: Selecionar e pousar cubos/ cubos (TO: 4,86; 5,52; 3,7; 4,53)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	Abdução	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	Postura repetida 4x/min	+1
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		5
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	20° a 60°	+3
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		6
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	Postura repetida 4x/min	+1
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		7
Pontuação Final		7

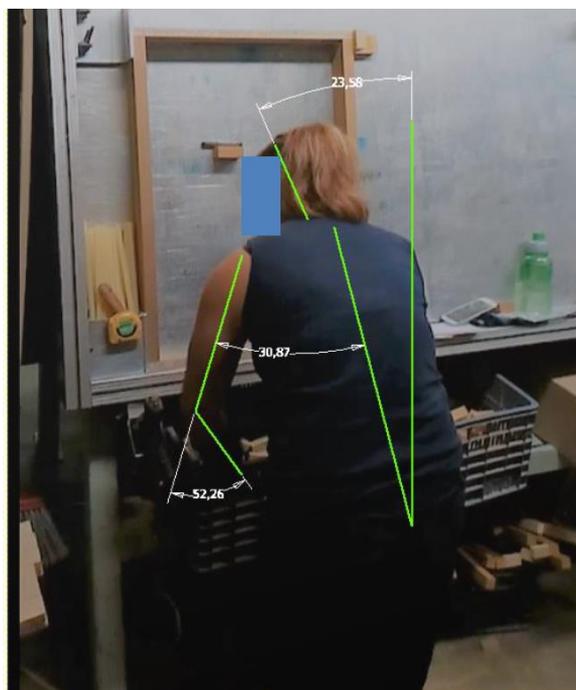


Figura 122 - RULA_B2: Elemento 4/5/11/16

Tabela 81- RULA_B2: Aplicação ao elemento 6 e 7

Elemento 6/7: Fixar cubos na esquerda/direita. (TO: 2,93 e 3,7)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	O antebraço cruza a linha central do corpo	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
	Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A	4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 8: Linha na Tabela C	4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	10° a 20°	+2
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	0° a 20°	+2
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
	Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B	4
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
	Passo 15: Coluna na Tabela C	4
	Pontuação Final	4



Figura 123 - RULA_B2: Elemento 6/7

Tabela 82 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 8, 12, 14 e 17

Elemento 8/12/14/17: Aplicar cola nos cubos e cubos (TO: 4,57; 3,33; 1,79; 2,88)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	-20° a 20°	+1
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	O antebraço trabalha na parte lateral	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		3
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	Postura repetida 4x/min	+1
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	>20°	+3
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		3
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	Postura repetida 4x/min	+1
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		4
Pontuação Final		4

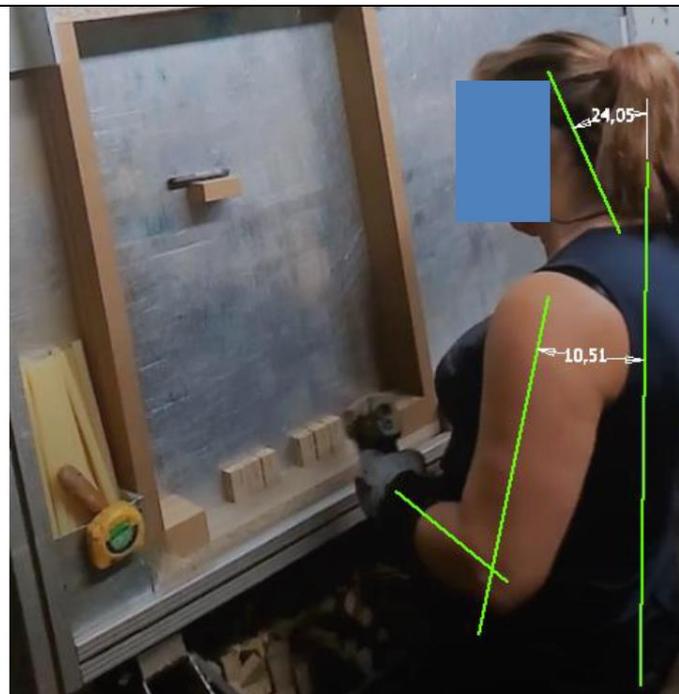


Figura 124 - RULA_B2: Elemento 8/12/14/17

Tabela 83 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 9

Elemento 9: Fixar cubos em cima (TO: 4,51)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	>90°	+4
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	O antebraço cruza a linha central	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	>15°	+3
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		6
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		6
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	<0°	+4
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		5
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		5
Pontuação Final		6



Figura 125 - RULA_B2: Elemento 9

Tabela 84 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 10

Elemento 10: Pegar nas ripas pretas (TO: 5,92)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 10°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0°	+1
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		3



Figura 126 - RULA_B2: Elemento 10

Tabela 85 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 13 e 18

Elemento 13/18: Fixar cubos em baixo/intermédio (TO: 4,31; 3,03)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	20° a 45°	+2
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	60° a 100°	+1
2a: Ajustar	O antebraço cruza a linha central	+1
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há inclinação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+1
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		2
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		2
Pontuação Final		3

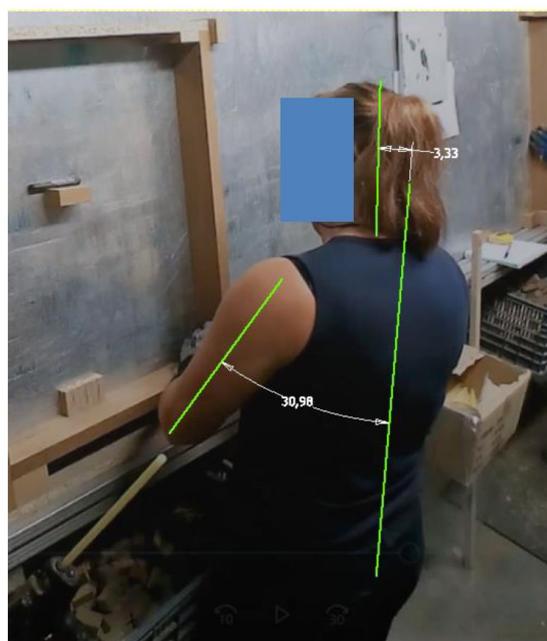


Figura 127 - RULA_B2: Elemento 13/18

Tabela 86 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 15

Elemento 15: Pegar nas ripas castanhas (TO: 7,26)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	>90°	+4
1a: Ajustar	-	+0
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	0° a 15°	+2
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		4
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		4
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0° a 10°	+1
9a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 10: Verificar a posição do tronco	> 60°	+4
10a: Ajustar	Há rotação lateral	+1
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés mal apoiados e postura instável	+2
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		7
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		7
Pontuação Final		6

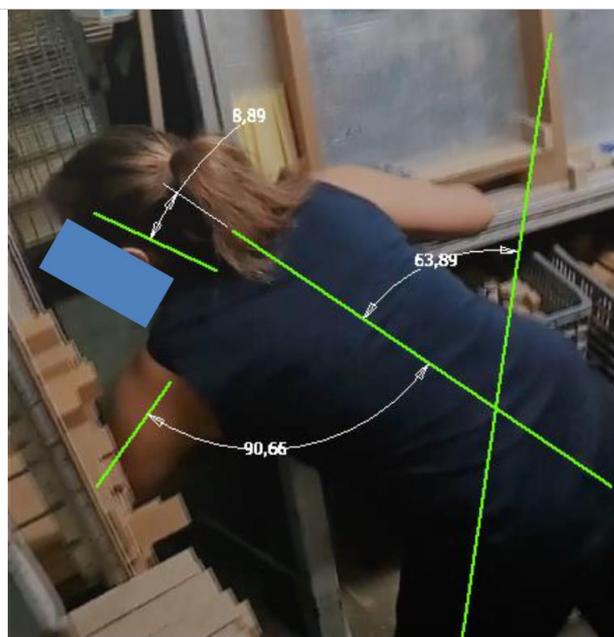


Figura 128 - RULA_B2: Elemento 15

Tabela 87 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 19

Elemento 19: Escrever anotação (TO: 2,01)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	-15° a 0°	+3
3a: Ajustar	Abdução e adução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		5
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 8: Linha na Tabela C		5
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	0 a 10°	+2
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	-10° a 0°	+1
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés bem apoiados e postura equilibrada	+2
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		3
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Inferior a 2 kg	+0
Passo 15: Coluna na Tabela C		3
Pontuação Final		4

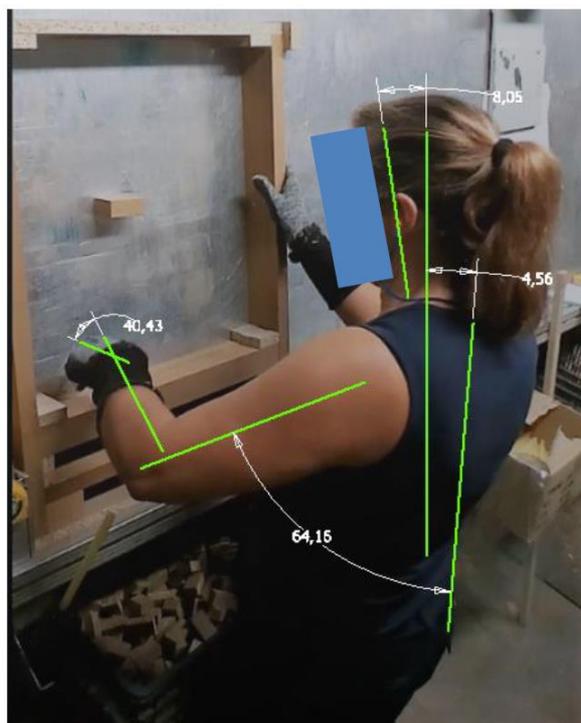


Figura 129 - RULA_B2: Elemento 19

Tabela 88 - RULA_B2: Aplicação ao elemento 20

Elemento 20: Colocar a <i>frame</i> pronta na palete (TO: 4,38)		
Grupo A: Análise dos Braços e Pulso		Pontuação
Passo 1: Verificar a posição do braço	45° a 90°	+3
1a: Ajustar	Abdução do braço	+1
Passo 2: Verificar a posição do antebraço	0° a 60°	+2
2a: Ajustar	-	+0
Passo 3: Verificar a posição do Pulso	-15° a 0°	+3
3a: Ajustar	Abdução do pulso	+1
Passo 4: Rotação do Pulso	Ligeira	+1
Passo 5: Encontrar a pontuação - Tabela A		5
Passo 6: Pontuação – Utilização muscular	-	+0
Passo 7: Pontuação – Força/Carga	Entre 2 e 10kg (intermitente)	+1
Passo 8: Linha na Tabela C		6
Grupo B: Análise do Pescoço, Tronco e Pernas		
Passo 9: Verificar a posição do pescoço	<0°	+4
9a: Ajustar	-	+0
Passo 10: Verificar a posição do tronco	> 60°	+4
10a: Ajustar	-	+0
Passo 11: Verificar a posição das pernas	Pernas e pés mal apoiados e postura instável	+2
Passo 12: Encontrar a pontuação – Tabela B		7
Passo 13: Pontuação - Utilização muscular	-	+0
Passo 14: Pontuação – Força/Carga	Entre 2 e 10kg (intermitente)	+1
Passo 15: Coluna na Tabela C		8
Pontuação Final		7

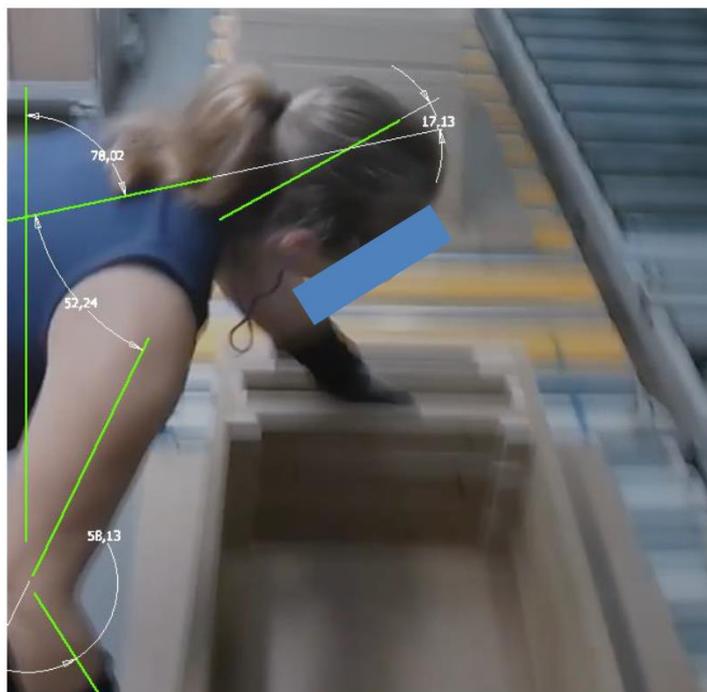


Figura 130 - RULA_B2: Elemento 20

ANEXO 16 – QUESTIONÁRIO: APLICAÇÃO NA PM

QUESTIONÁRIO N.º _____ Data: _____ POSTO DE TRABALHO: *Preassembly com cobot*

A. CARACTERIZAÇÃO DA TRABALHADORA

Idade: _____ Antiguidade na montagem de frames: _____

LME/LMERT: _____

B. PERCEÇÕES SOBRE INFLUÊNCIA DA ROBÓTICA NO CONTEXTO OCUPACIONAL/PRODUÇÃO

Para cada uma das afirmações, assinale o valor da escala de Likert (0 a 5) relativamente à sua concordância.

	Sem opinião	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Totalmente de acordo
1. A robótica pode colocar em risco postos de trabalho ocupados por pessoas.	0	1	2	3	4	5
2. Os robots são capazes de partilhar tarefas com os humanos.	0	1	2	3	4	5
3. Incluir os robots no chão de fábrica permite ajustar o horário de trabalho, e melhorar as condições de trabalho.	0	1	2	3	4	5
4. A integração da robótica pode criar mais postos de trabalho do que aqueles que pode destruir.	0	1	2	3	4	5
5. Os trabalhos robotizados aumentarão as tarefas repetitivas e/ou a monotonia dos postos.	0	1	2	3	4	5
6. É possível o ser humano vir a sentir-se inseguro e ameaçado pelos riscos da robótica.	0	1	2	3	4	5
7. A robótica ajuda a diminuir os esforços repetitivos e/ou de maior intensidade.	0	1	2	3	4	5
8. Com a introdução da robótica o ser humano ficará com tarefas mais complexas/exigentes mentalmente.	0	1	2	3	4	5
9. Os robots são uma fonte de desenvolvimento e uma mais valia para as empresas, em todos os setores de atividade.	0	1	2	3	4	5
10. A existência de tarefas com robots aumentam o stress e ansiedade nos trabalhadores.	0	1	2	3	4	5
11. A robótica pode aumentar a produtividade de postos de montagem.	0	1	2	3	4	5
12. Os robots podem provocar acidentes e ferimentos nos trabalhadores.	0	1	2	3	4	5

Figura 131 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte I

C. ROBÓTICA TRADICIONAL vs. ROBÓTICA COLABORATIVA

C1. Selecione os 3 conceitos que mais associa aos robots tradicionais (já existentes na fábrica, como na pintura, paletização automática...):

- () Zona de segurança () Isolamento () Risco de acidente
 () Maior velocidade () Menor mão-de-obra () Qualidade dos produtos
 () Flexibilidade () Menor desperdício () Cooperação com pessoas
 () Outro (s): _____

C2. Onde são usados os robots tradicionais? Assinale com um X as opções válidas.

- () Tarefas perigosas () Tarefas de risco ambiental
 () Tarefas repetitivas para o ser humano () Cooperar lado a lado com operadores
 () Manipulação de cargas pesadas () Produção de produtos muito complexos
 () Outro (s): _____

C3. Gostava de trabalhar com um robot sem barreiras físicas/grades? Assinale com um X a opção válida.

- () Sim () Não () Prefiro com barreiras () Sem opinião

C4. Qual o seu grau de familiaridade com o potencial dos cobots/robots colaborativos? Assinale com um X as opções válidas.

- () Não familiarizado/não conheço. () Já ouvi falar ou li sobre eles.
 () Estou bem informado. () Tenho na empresa e/ou já foi usado/já usei.
 () Outro (s): _____

C5. Para cada característica indique, com um X, a qual tipo de robot a atribui.

	Robot Tradicional	Robot colaborativo (Cobot)	Não sei / Sem opinião
1. Maior velocidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Maior cooperação Humano-Máquina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Maior segurança	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Maior produtividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Maior custo de aquisição	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Maior aceitação para o uso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Maior flexibilidade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Diversidade de aplicações	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 132 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte II

C6. Acha que seria útil o uso de um *cobot* na empresa? Em que postos de trabalho?

- () Montagem vertical de frames () Inspeção () Cold Press () Abastecimento
 () Inserção do favo de mel () Pré montagem () Não sei () Não acho útil
 () Outro (s): _____

C6.1 Para que tipo de tarefa(s)? _____

C7. Indique que tipo de impacto (positivo/negativo) tem o uso de um *cobot* nos seguintes níveis:

	Impacto Positivo	Impacto Negativo	Não sei / Sem opinião
1. Produtividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Competitividade	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Segurança	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Custo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Criação de postos de trabalho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Condições de trabalho	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Outra: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C8. Avalie de que forma os requisitos seguintes são importantes para a colaboração entre os *cobots* e os seres humanos.

	Sem opinião	Não compromete de todo	Não influência muito	Neutro	Influência de alguma forma	Fator determinante
1. Segurança	0	1	2	3	4	5
2. Ritmo de trabalho do <i>cobot</i> adequa-se ao ritmo de trabalho dos operadores	0	1	2	3	4	5
3. Flexibilidade	0	1	2	3	4	5
4. Eficiência do sistema	0	1	2	3	4	5
5. Nível de formação/instrução	0	1	2	3	4	5
6. Forma de comunicação entre humano e <i>cobot</i>	0	1	2	3	4	5
7. Treino para esta colaboração	0	1	2	3	4	5
8. Outra:	0	1	2	3	4	5

C9. Comentários adicionais e sugestões sobre a implementação de soluções robóticas colaborativas:

Figura 133 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte III

D. AVALIAÇÃO DO PT PELOS TRABALHADORES

Fatores	Avaliação	Justificação/Comentário:
1. Espaço de trabalho (para se movimentar, área de trabalho/tabuleiro, altura dos objetos/tabuleiros, ...)	-- - + ++	
2. Atividade física em geral (ritmo de trabalho imposto, carga física, ...)	-- - + ++	
3. Tarefas de elevação manual de cargas (cargas pesadas, de difícil manipulação, junto ao solo ou acima dos ombros, ...)	-- - + ++	
4. Posturas e movimentos (posturas desconfortáveis, repetitividade, postura estática...)	-- - + ++	
5. Risco de acidente (em termos de gravidade e probabilidade)	-- - + ++	
6. Conteúdo do Trabalho (variedade de tarefas que executa)	-- - + ++	
7. Restritividade do Trabalho (em termos de liberdade de movimentos e de decidir quando e como realizar o trabalho)	-- - + ++	
8. Comunicação e contatos pessoais entre trabalhadores (oportunidade de comunicar com superiores e entre colegas, se é afetada pela distância entre pessoas e/ou ruído)	-- - + ++	
9. Tomada de decisões (dificuldade influenciada pela adequação da informação disponível e pelo risco envolvido nas decisões)	-- - + ++	
10. Repetitividade do trabalho (ações e movimentos repetidos)	-- - + ++	
11. Nível de atenção requerido	-- - + ++	
12. Iluminação	-- - + ++	
13. Ambiente Térmico	-- - + ++	
14. Ruído	-- - + ++	

Figura 134 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte IV

E. Avaliação das tarefas quanto ao esforço percebido

Considerando as tarefas que habitualmente desempenha, avalie o esforço percebido considerando a Escala CR-10 de Borg.

Pontuação	Esforço	Indicadores
10	Extremamente Difícil.	Esforço quase máximo. Sinto que é praticamente impossível de manter.
9	Muito Difícil de manter.	É muito difícil manter esta atividade.
8	Muito difícil.	À beira de se tornar desconfortável.
7	Mais difícil.	
6	Difícil.	
5	Um pouco difícil.	
4	Moderado, com alguma dificuldade.	Sinto que consigo exercer esta atividade durante horas.
3	Moderado.	Sinto que consigo manter com facilidade esta atividade durante horas.
2	Pouco.	
1	Mínimo.	Como por exemplo, ver televisão, conduzir um automóvel, etc.
0	Nenhum.	

	Pontuação [0-10]	Comentário:
T1. Retirar ripas do carrinho/palete e colocar no tabuleiro de montagem.		
T2. Alcançar cubos da caixa.		
T3/T5. Pegar na pistola de cola e pousar a mesma no suporte.		
T4. Aplicar cola com pistola.		
T6. Colar cubos nas ripas.		
T7. Inverter/rodar a ripa no tabuleiro.		
T8. Retirar ripas com cubos colados do tabuleiro.		
T9. Colocar ripas com cubos colados na palete.		
T10. Abastecer pistola de cola.		
Outra:		

Figura 135 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte V

F. AVALIAÇÃO GERAL DO NOVO PT

	Sem opinião	Discordo totalmente	Discordo	Neutro	Concordo	Totalment e de acordo
1. O novo PT torna as tarefas de montagem mais fáceis.	0	1	2	3	4	5
2. Sinto que a minha postura durante o trabalho melhorou.	0	1	2	3	4	5
3. O esforço associado ao trabalho diminuiu.	0	1	2	3	4	5
4. No fim do turno, o desconforto musculoesquelético diminuiu.	0	1	2	3	4	5
5. O trabalho realizado tornou-se mais monótono.	0	1	2	3	4	5
6. Penso que este PT deveria ser melhorado.	0	1	2	3	4	5

D1. Comentários adicionais e sugestões de melhoria do PT:

Figura 136 - Questionário aplicado na pré-montagem: Parte VI

ANEXO 17 – AJUSTAMENTOS DE DIFICULDADE: PM NOVA

Tabela 89 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RS₁

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4						
Elemento 5	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1 kg

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1,5kg	3	11
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5kg	3	12
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	P	2	0,5 kg	1	12
Elemento 4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
Elemento 5	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	10

Figura 137 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RS₁

Tabela 90 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RS.

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 0,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4						
Elemento 5	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseiro	Esforço de 1kg

Ajustamentos													
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		Total
	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.									
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5kg	1	6
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5kg	1	10
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	P	2	0,5 kg	1	12
Elemento 4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
Elemento 5	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	1 kg	2	10

Figura 138 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RS.

Tabela 91 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RD,

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 2,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 2,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4						
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 6	Pulso e dedos (mão)	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5 kg
Elemento 7	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 2kg

	Ajustamentos												Total
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		
	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.	
Elemento 1	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2,5kg	4	12
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	2,5kg	4	13
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	P	2	0,5 kg	1	12
Elemento 4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5 kg	3	12
Elemento 6	B	1	F	0	H	0	J	2	N	0	0,5 kg	1	4
Elemento 7	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2 kg	3	11

Figura 139 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RD,

Tabela 92 - Ajustamentos de dificuldade aplicados - PM nova da RD_z

	<i>Categoria 1</i>	<i>Categoria 2</i>	<i>Categoria 3</i>	<i>Categoria 4</i>	<i>Categoria 5</i>	<i>Categoria 6</i>
Elemento 1	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 0,5kg
Elemento 2	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão Moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5kg
Elemento 3	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Constante mas não próxima	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 0,5 kg
Elemento 4						
Elemento 5	Todo o membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Visão moderada	Deve ser controlado, mas pode ser inclinado	Esforço de 1,5 kg
Elemento 6	Tronco e membro superior	Sem pedais	As duas mãos ajudam-se	Trabalho grosseiro	Manipulação grosseira	Esforço de 2 kg

Ajustamentos													
	Categoria 1		Categoria 2		Categoria 3		Categoria 4		Categoria 5		Categoria 6		Total
	Código	Ajust.	Força Ex.	Ajust.									
Elemento 1	D	5	F	0	H	0	I	0	N	0	0,5kg	1	6
Elemento 2	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	0,5kg	1	10
Elemento 3	D	5	F	0	H	0	K	4	P	2	0,5 kg	1	12
Elemento 4	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	0
Elemento 5	D	5	F	0	H	0	J	2	P	2	1,5 kg	3	12
Elemento 6	E	8	F	0	H	0	I	0	N	0	2 kg	3	11

Figura 140 - Ajustamentos de dificuldade aplicados (numéricos) - PM nova da RD_z

ANEXO 18 – FOLHAS DE CÁLCULO PARA A CRONOMETRAGEM DA PM NOVA

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6	
	TO	FA										
1	3,71	150	1,90	80	9,39	90	4,40	100	1,12	90	2,79	100
2	3,27	140	2,40	100	10,70	100	5,30	100	1,25	100	3,02	110
3	2,07	90	2,45	100	12,70	120	3,88	100	1,22	100	2,28	80
4	3,03	130	2,32	95	11,08	105	5,36	100	1,20	95	2,18	80
5	2,35	100	3,06	120	10,71	100	4,15	100	1,15	90	3,00	110
6	2,79	120	3,59	145	10,16	95	4,53	100	1,42	115	2,79	100
7	2,07	90	2,30	95	11,74	110	4,65	100	1,33	105	2,78	100
8	2,32	100	2,05	85	11,79	110	4,46	100	1,33	105	2,94	105
9	2,88	120	2,23	90	8,46	80	6,49	100	1,65	130	2,88	105
10	2,17	90	3,21	130	9,72	80	4,03	100	1,46	115	3,03	110
11	2,34	100	3,15	130	10,52	10	3,60	100	1,27	100	2,46	90
12	2,35	100	2,20	90	9,35	90	2,55	100	1,32	105	2,61	95
13	2,15	90	2,86	120	8,68	80	4,29	100	1,25	100	2,77	100
14	1,84	80	1,89	80	7,93	75	5,20	100	1,45	115	2,95	105
15	2,22	95	3,05	120	10,62	100	4,14	100	1,12	90	3,17	115
16	2,96	125	2,69	110	11,25	105	1,56	100	1,22	100	2,44	90
17	2,61	110	1,52	70	13,78	130	3,69	100	1,00	80	2,63	95
18	3,75	150	2,31	95	11,05	105	2,89	100	1,75	140	1,92	70
19	2,39	100	3,00	120	11,06	105	5,00	100	1,76	140	1,84	65
20	2,06	90	2,54	105	9,83	95	3,17	100	1,18	95	2,33	85
21	2,26	95	2,20	90	8,71	80	3,32	100	1,56	125	2,54	90
22	2,31	100	2,77	115	10,71	100	4,55	100	1,07	85	4,32	150
23	3,22	135	2,42	100	8,59	80	4,86	100	1,07	85	3,14	115
24	2,04	85	3,21	130	9,39	90	3,96	100	1,26	100	2,40	85
25	2,61	110	1,63	65	11,94	110	3,11	100	1,15	90	2,78	100

Z	1,29					
e	0,05					
TO médio	2,55	2,52	10,39	4,13	1,30	2,72
FA médio	108	103	94	100	104	98
Desvio P.	0,426	0,435	1,130	0,770	0,160	0,343
N'	19	20	8	23	10	11

Figura 141 - PM nova: Folha de cálculo para a RS_{11}

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5	
	TO	FA								
1	3,92	125	2,61	135	15,58	125	4,02	100	4,04	150
2	4,62	140	1,99	105	15,53	125	3,48	100	3,66	140
3	3,44	110	1,88	100	12,13	100	3,37	100	2,04	80
4	3,44	110	1,82	95	12,91	105	1,66	100	2,45	95
5	2,53	80	1,78	90	15,37	125	4,28	100	2,61	100
6	2,62	85	1,88	100	10,75	85	3,95	100	3,25	125
7	2,79	90	1,82	95	10,99	90	2,50	100	3,18	120
8	3,09	100	1,76	90	11,33	90	3,05	100	2,51	95
9	4,34	130	1,77	95	18,13	140	2,14	100	2,22	85
10	3,41	110	1,87	100	10,85	90	2,60	100	2,51	95
11	2,14	70	2,33	120	11,26	90	3,01	100	2,06	80
12	2,77	90	2,68	130	10,37	85	3,21	100	3,19	120
13	3,84	125	1,91	100	13,27	110	2,08	100	3,05	120
14	2,46	80	3,29	140	12,51	100	3,03	100	2,81	110
15	3,17	105	2,98	135	14,36	115	4,56	100	2,59	100
16	2,65	85	1,78	95	12,46	100	2,77	100	2,26	85
17	4,60	140	1,94	100	12,34	100	3,41	100	2,56	100
18	2,85	90	3,03	135	14,58	120	2,39	100	2,27	90
19	3,43	100	2,61	130	11,80	95	3,11	100	2,42	95
20	2,88	95	2,13	110	9,97	80	2,55	100	2,62	100
21	2,59	85	2,86	135	13,40	110	3,63	100	3,27	125
22	3,09	100	1,87	100	12,48	100	2,87	100	3,11	100
23	3,29	105	1,91	100	12,12	100	3,85	100	2,40	95
24	2,89	95	1,86	95	12,22	100	2,69	100	2,57	100
25	3,07	100	2,88	135	12,16	100	3,65	100	3,33	125

Z	1,29					
e	0,05					
TO médio	3,20	2,21	12,75	3,11	2,76	
FA médio	102	111	103	100	105	
Desvio P.	0,509	0,431	1,467	0,572	0,424	
N'	17	25	9	22	16	

Figura 142 - PM nova: Folha de cálculo para a RS_{12}

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6		Elemento 7	
	TO	FA												
1	1,80	90	3,88	125	25,48	130	6,93	100	4,13	105	1,35	90	2,67	105
2	1,86	95	2,55	105	21,26	120	6,54	100	3,51	90	1,76	120	3,35	125
3	1,82	90	2,23	95	17,92	100	11,68	100	3,66	95	1,53	105	2,35	95
4	2,06	100	2,31	95	15,77	90	14,65	100	3,20	85	1,30	85	2,28	90
5	2,23	110	2,52	105	17,87	100	11,88	100	3,87	100	1,74	105	2,31	90
6	2,73	130	2,37	100	18,79	105	8,82	100	4,58	120	1,32	90	2,16	85
7	1,92	95	3,32	120	16,22	90	15,08	100	3,12	80	1,50	100	3,43	135
8	1,79	90	3,34	120	17,84	100	13,29	100	4,70	120	1,45	95	2,69	105
9	1,89	95	2,23	95	15,63	85	15,79	100	3,52	90	1,22	80	2,94	115
10	2,48	120	3,59	130	16,81	95	16,56	100	3,73	95	1,30	85	3,05	120
11	1,60	80	3,11	115	18,84	105	11,80	100	4,73	120	1,53	105	2,51	100
12	2,19	110	3,27	120	19,53	110	9,76	100	4,35	110	1,78	120	2,21	90
13	2,52	120	3,71	125	16,14	90	12,88	100	3,44	90	1,50	100	2,04	80
14	2,62	125	2,99	115	17,67	100	13,72	100	5,88	140	1,49	100	2,00	80
15	2,33	115	2,27	95	17,00	95	12,52	100	4,43	115	1,40	95	2,59	105
16	2,66	125	2,36	100	19,84	110	13,12	100	3,95	100	1,98	125	2,50	100
17	1,83	90	2,41	100	17,11	95	9,46	100	4,65	115	1,60	105	2,51	100
18	1,76	90	3,12	115	14,62	80	11,09	100	3,72	95	1,08	70	3,13	125
19	1,98	100	1,91	80	22,20	120	8,15	100	4,11	105	1,17	75	3,28	130
20	1,76	90	2,27	95	17,58	100	13,01	100	4,42	115	1,53	105	2,47	100
21	3,23	135	2,51	105	21,41	115	9,10	100	4,03	105	1,20	80	4,18	140
22	2,10	105	2,11	90	16,37	90	14,31	100	3,06	80	1,47	100	2,43	95
23	2,11	105	2,03	85	18,18	100	15,69	100	3,51	90	1,67	110	2,43	95
24	2,01	100	2,24	95	18,17	100	12,28	100	3,48	90	1,72	115	3,26	130
25	2,00	100	2,21	90	18,80	105	8,36	100	3,75	95	1,15	75	3,10	125

Z	1,29													
e	0,05													
TO médio	2,13		2,67		18,28		11,86		3,98		1,47		2,71	
FA médio	104		105		101		100		102		97		106	
Desvio P.	0,305		0,501		1,729		2,301		0,497		0,178		0,423	
N'	14		23		6		25		10		10		16	

Figura 144 - PM nova: Folha de cálculo para a RD₁₁.

Ciclo	Elemento 1		Elemento 2		Elemento 3		Elemento 4		Elemento 5		Elemento 6	
	TO	FA										
1	1,78	75	3,10	120	17,46	100	12,89	100	3,55	90	3,22	115
2	2,12	90	2,47	100	18,64	105	15,25	100	4,03	105	2,96	105
3	2,83	115	1,89	75	18,20	105	10,71	100	5,07	130	3,18	115
4	2,32	95	2,12	85	18,51	105	10,95	100	3,86	100	2,62	95
5	2,74	115	2,28	90	19,32	110	11,24	100	3,36	85	2,19	80
6	3,39	125	2,83	115	16,71	95	10,85	100	4,63	120	2,80	100
7	2,55	105	2,32	95	16,68	95	11,00	100	4,55	120	5,21	150
8	2,04	85	2,25	90	18,79	110	11,19	100	4,19	110	2,81	100
9	2,08	85	2,68	110	21,22	120	8,34	100	3,87	100	2,20	80
10	2,9	120	1,75	70	16,53	95	19,04	100	3,64	95	2,59	95
11	2,49	105	3,29	125	17,14	100	19,25	100	3,80	100	2,89	105
12	2,06	85	4,15	135	17,80	100	12,55	100	3,80	100	2,80	100
13	3,23	130	1,88	75	16,58	95	14,56	100	4,28	110	2,03	75
14	2,76	115	3,03	120	19,78	115	12,06	100	3,08	80	2,66	95
15	2,52	105	2,15	85	17,79	100	9,46	100	4,15	105	2,22	80
16	2,71	110	3,17	120	15,61	90	11,94	100	3,49	90	2,15	75
17	1,86	75	3,24	125	19,89	115	10,34	100	3,58	95	3,30	120
18	2,16	90	2,96	115	18,73	105	9,80	100	3,70	95	2,36	85
19	2,41	100	2,64	110	19,29	110	15,22	100	4,66	120	2,82	100
20	1,97	90	2,30	95	13,99	80	15,62	100	3,89	100	3,31	120
21	1,67	70	2,20	90	14,75	85	16,87	100	4,35	110	3,03	110
22	4,14	135	2,49	100	16,02	90	15,49	100	4,06	105	3,64	125
23	3,26	130	2,37	95	15,26	85	14,17	100	3,83	100	2,56	90
24	2,19	90	2,47	100	17,06	100	13,72	100	3,98	105	2,35	85
25	2,42	100	2,74	110	14,84	85	18,68	100	3,79	100	3,78	130

Z	1,29											
e	0,05											
TO médio	2,50		2,59		17,46		13,25		3,97		2,87	
FA médio	102		102		100		100		103		101	
Desvio P.	0,439		0,426		1,472		2,572		0,345		0,468	
N'	20		18		5		25		5		18	

Figura 143 - PM nova: Folha de cálculo para a RD₁₂.

ANEXO 19 – RULA: PM NOVA

Pontuação	Action Level	Significado
1 ou 2	1	Indica posturas aceitáveis se não mantidas por longos períodos de tempo
3 ou 4	2	Indica que futura análise é necessária e poderão ser precisas mudanças
5 ou 6	3	Indica a necessidade de investigação num futuro próximo
7	4	Indica que investigação e mudanças são requeridas urgentemente

Tarefa	Trab	Post	Lado	Grupo A										Grupo B						RULA Score	Nível de Ação
				Braco	Antebraço	Pulso	Rotação do pulso	Score tabA	... + UM	... + Força	Score A	Pescoco	Tronco	Pernas	Score tabB	... + UM	... + Força	Score B			
T1: colocar na mesa de trabalho, T2: Ajudar	T1	P1	D	2	2	2	1	3	0	0	3	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
		P2	E	1	1	3	2	3	0	0	3	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
		P3	E	1	2	3	2	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P4	D	2	2	2	1	3	0	0	3	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
	T2	P1	D	1	2	1	1	2	0	0	2	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
		P2	D	1	2	1	1	2	0	0	2	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
		P3	D	1	2	1	1	2	0	0	2	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
		P4	D	1	1	3	1	2	0	0	2	3	1	1	3	0	0	3	3	2	
Média										2,50							2,88	3,0			
DP										0,5							0,4	0,0			
Alcançar e Fixar os cubos	T1	P1	E	3	2	4	1	5	1	0	6	2	1	1	2	1	0	3	5	3	
		P2	E	1	3	2	1	1	1	0	2	3	2	1	3	1	0	4	4	1	
		P3	D	3	3	4	1	5	1	0	6	3	2	1	3	1	0	4	6	3	
		P4	E	1	2	2	1	2	1	0	3	3	1	1	3	1	0	4	4	2	
		P5	D	1	2	2	1	2	1	0	3	3	1	1	3	1	0	4	4	2	
		P6	E	1	3	1	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
		P7	D	2	2	3	1	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
		P8	D	2	2	2	1	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
	T2	P1	D	2	2	3	1	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
		P2	D	2	2	2	1	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
		P3	D	3	2	1	1	3	1	0	4	1	1	1	1	1	0	2	3	1	
		P4	D	1	3	2	1	3	1	0	4	3	1	1	3	1	0	4	4	2	
		P5	E	3	3	3	1	4	1	0	5	1	2	1	2	1	0	3	4	1	
		P6	E	1	3	1	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
		P7	E	1	3	1	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
		P8	E	1	3	1	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
Média										3,9							3,5	3,9			
DP										1,2							0,7	0,8			
Transferir ripas para a pallet	T1	P1	D	3	2	3	1	4	0	1	5	2	2	2	2	0	1	3	4	2	
		P2	D	2	1	1	1	2	0	1	3	1	3	1	3	0	1	4	4	2	
		P3	D	2	2	3	1	3	0	1	4	3	2	1	3	0	1	4	4	1	
		P4	E	2	2	1	1	3	0	1	4	1	4	2	5	0	1	6	6	3	
		P5	D	1	1	1	1	1	0	1	2	1	2	1	2	0	1	3	3	2	
	T2	P1	E	3	2	2	1	4	0	1	5	1	4	2	5	0	1	6	6	3	
		P2	E	2	2	3	1	3	0	1	4	1	2	1	2	0	1	3	3	2	
		P3	D	2	2	3	1	3	0	1	4	2	1	1	2	0	1	3	3	2	
		P4	E	3	2	2	1	4	0	1	5	3	1	1	3	0	1	4	5	3	
		P5	D	2	2	2	1	3	0	1	4	1	2	1	2	0	1	3	3	2	
Média										4,0							4,0	4,1			
DP										1,0							1,2	1,2			
T1: Acionar e Pegar nas ripas / T2: Acionar e esperar	T1	P1	D	2	2	3	1	3	0	0	3	1	2	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	2	1	1	1	2	0	0	2	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
		P3	D	3	3	3	1	4	0	0	4	1	2	2	3	0	0	3	3	2	
		P4	D	2	2	1	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P5	D	1	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	0	0	2	2	1	
		P6	E	1	1	1	2	2	0	0	2	2	2	1	2	0	0	2	2	1	
		P7	D	2	2	1	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P8	D	2	1	1	1	2	0	0	2	2	2	1	2	0	0	2	2	1	
	T2	P1	D	2	2	1	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	3	2	1	1	3	0	0	3	1	2	1	2	0	0	2	3	2	
		P3	E	1	2	1	2	2	0	0	2	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
		P4	E	1	2	1	1	2	0	0	2	2	2	1	2	0	0	2	2	1	
Média										2,5							2,1	2,5			
DP										0,8							0,3	0,5			
Virar as ripas	T1	P1	D	3	2	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	5	1	3	1	5	0	0	5	1	1	1	1	0	0	1	4	2	
		P3	D	3	1	1	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P4	D	2	2	2	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
	T2	P1	D	3	2	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	5	1	3	1	5	0	0	5	2	1	1	2	0	0	2	4	2	
		P3	D	3	1	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P4	D	2	1	1	1	2	0	0	2	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
Média										3,75							1,88	3,1			
DP										1,0							0,4	0,6			
Esperar pelo dispensador	T1	P1	E	1	2	1	1	2	0	0	2	2	2	1	2	0	0	2	2	1	
		P2	E	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
	T2	P1	E	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
		P2	E	1	1	1	1	1	0	0	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	
Média										1,50							2,00	2,0			
DP										0,6							0,0	0,0			
Escrever anotação	T1	P1	D	1	2	1	1	2	0	0	2	2	1	1	2	0	0	2	2	1	

Figura 145 - Avaliação RULA: PM nova

ANEXO 20 – RULA: APLICAÇÃO À MONTAGEM COMPLETA E FINAL

Pontuação	Action Level	Significado
1 ou 2	1	Indica posturas aceitáveis se não mantidas por longos períodos de tempo
3 ou 4	2	Indica que futura pesquisa é necessária e posturas sob pressões mudam
5 ou 6	3	Indica a necessidade de investigação num futuro próximo
7	4	Indica que investigação e mudanças são requeridas urgentemente

Tarefa	Trab	Post	Lado	Grupo A										Grupo B				RULA Score	Nível de Ação	
				Braço	Antebraço	Pulso	Rotação do pulso	Score tabA	... + UM	... + Força	Score A	Pescoco	Tronco	Pernas	Score tabB	... + UM	... + Força			Score B
Pegar na ripa fina	T4	P1	D	3	2	2	1	4	0	0	4	3	1	1	3	0	0	3	3	2
	T6	P1	D	2	2	2	1	3	0	0	3	1	1	1	1	0	0	1	3	2
				3,50										2,00				3,0		
				0,7										1,4				0,0		
Pegar na ripa central	T3	P1	E	5	2	2	1	6	0	0	6	1	1	1	1	0	0	1	4	2
	P2	E	6	2	3	1	8	0	0	8	2	2	2	3	0	0	3	6	3	
	T5	P1	E	3	1	1	2	3	0	0	3	1	1	1	1	0	0	1	3	2
				5,67										1,67				4,3		
				2,5										1,2				1,5		
Pegar na ripa lateral	T3	P1	E	1	2	2	1	2	0	0	2	1	4	2	5	0	0	5	4	2
	T5	P1	E	2	2	2	1	3	0	0	3	1	3	1	3	0	0	3	3	2
				2,50										4,00				3,5		
				0,7										1,4				0,7		
Pegar na ripa grossa	T3	P1	D	4	2	2	1	4	0	1	5	1	2	1	2	0	1	3	4	2
	P2	D	4	2	2	1	4	0	1	5	1	2	1	2	0	1	3	4	2	
	T5	P1	D	1	2	2	1	2	0	1	3	1	1	1	1	0	1	2	3	2
				4,33										2,67				3,7		
				1,2										0,6				0,6		
Colocar a ripa fina em baixo	T4	P1	D	2	2	3	2	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2
	T6	P1	D	2	2	3	2	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2
				3,00										2,00				3,0		
				0,0										0,0				0,0		
Colocar a ripa fina em cima	T4	P1	E	5	2	2	1	6	0	0	6	1	1	1	1	0	0	1	4	2
	T6	P1	E	4	1	3	2	4	0	0	4	5	1	1	7	0	0	7	6	3
				5,00										4,00				5,0		
				1,4										4,2				1,4		
Colocar a ripa grossa	T3	P1	E	3	2	3	2	3	0	1	4	2	1	1	2	0	1	3	3	2
	P2	D	4	2	4	2	5	0	1	6	1	1	1	1	0	1	2	4	4	2
	P1	E	2	1	2	2	3	0	1	4	2	1	1	2	0	1	3	3	2	
	T5	P2	E	1	1	2	1	2	0	1	3	2	1	1	2	0	1	3	3	2
				4,25										2,75				3,3		
				1,3										0,5				0,5		
Colocar a ripa central em baixo	T3	P1	E	4	2	2	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2
	T6	P1	E	1	1	3	1	2	0	0	2	1	3	1	3	0	0	3	3	2
				3,00										2,50				3,0		
				1,4										0,7				0,0		
Colocar a ripa central em cima	T3	P1	E	5	2	1	1	5	0	0	5	2	2	1	2	0	0	2	4	2
	T5	P2	E	4	2	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2
				4,50										2,00				3,5		
				0,7										0,0				0,7		
Colocar a ripa lateral	T3	P1	D	4	2	3	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2
	T4	P1	E	4	2	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2
	T5	P1	D	2	1	2	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2
	T6	P1	E	4	1	1	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2
				3,75										2,00				3,0		
				0,5										0,0				0,0		
Escrever Anotação	T3	P1	D	3	1	1	1	3	0	0	3	1	1	1	1	0	0	1	3	2
	P2	D	2	1	1	1	2	0	0	2	1	1	1	1	0	0	1	2	2	
	P1	D	4	1	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
	T5	P2	D	1	2	1	1	2	0	0	2	1	1	1	1	0	0	1	2	2
				2,75										1,25				2,5		
				1,0										0,5				0,6		
Selecionar os cubos da caixa	T3	P1	D	2	2	2	1	3	1	0	4	2	2	1	3	1	0	4	4	2
	P2	E	2	2	2	1	3	1	0	4	3	3	1	4	1	0	5	5	3	
	P1	E	2	2	2	1	3	1	0	4	2	3	1	3	1	0	4	4	2	
	T4	P2	D	2	1	1	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2
	T5	P1	E	1	1	3	1	2	1	0	3	2	2	1	3	1	0	4	4	2
				3,33										4,00				4,0		
				0,8										0,6				0,6		
Aplicar cola	T3	P1	D	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	1	2	1	0	3	3	2
	P2	D	2	1	2	1	3	1	0	4	5	2	1	7	1	0	8	6	3	
	P3	E	2	3	2	2	4	1	0	5	2	1	1	2	1	0	3	4	2	
	P4	E	1	3	1	2	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
	T4	P1	E	1	3	2	2	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2
	P2	D	4	1	2	1	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
	P1	D	4	2	1	1	4	1	0	5	1	1	1	1	1	0	2	4	2	
	T5	P2	D	1	2	1	1	2	1	0	3	2	2	1	2	1	0	3	3	2
	P3	D	4	2	1	1	4	1	0	5	2	1	1	2	1	0	3	4	2	
	P4	E	1	3	1	2	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
	T6	P1	E	1	3	1	2	3	1	0	4	1	1	1	1	1	0	2	3	2
	P2	D	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	2	2	
	P3	D	5	2	1	1	5	1	0	6	1	1	1	1	1	0	2	4	2	
					4,08										3,08				3,5	
					1,2										1,6				1,0	
Fixar os cubos	T3	P1	D	5	2	1	1	5	1	0	6	2	2	1	2	1	0	3	5	3
	P2	D	1	2	2	1	2	1	0	3	2	3	1	4	1	0	5	4	2	
	P3	E	3	1	3	2	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
	T4	P1	D	4	2	1	2	4	1	0	5	4	1	1	5	1	0	6	7	4
	P2	E	2	1	2	2	3	1	0	4	2	2	1	2	1	0	3	3	2	
	P3	D	4	1	3	1	4	1	0	5	3	2	1	3	1	0	4	5	3	
	P4	E	2	2	1	1	3	1	0	4	4	3	1	6	1	0	7	6	3	
	T5	P1	D	1	2	1	1	2	1	0	3	2	2	1	2	1	0	3	3	2
	P2	E	4	2	3	2	4	1	0	5	1	1	1	1	1	0	2	4	2	
	P3	D	2	1	1	2	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
	T6	P1	E	4	2	2	1	4	0	1	5	2	1	1	2	0	1	3	3	2
	P2	D	5	1	1	1	5	1	0	6	2	2	1	2	1	0	3	5	3	
	P3	D	4	2	3	2	4	1	0	5	1	1	1	1	1	0	2	4	2	
	P4	E	3	1	2	1	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
	P5	D	2	2	2	2	3	1	0	4	2	1	1	2	1	0	3	3	2	
				4,47										3,47				4,2		
				1,0										1,5				1,2		
Colocar frames na palete	T3	P1	D	5	2	1	1	5	0	1	6	4	1	1	5	0	1	6	7	4
	P2	D	4	2	2	1	4	0	1	5	4	1	1	5	0	1	6	7	4	
	P3	D	3	1	2	1	4	0	1	5	1	2	2	3	0	1	4	5	3	
	P4	E	4	1	2	1	4	0	1	5	2	1	1	2	0	1	3	4	2	
	T4	P1	D	3	2	1	1	3	0	1	4	2	1	1	2	0	1	3	3	2
	P1	E	4	2	2	1	4	0	1	5	2	1	1	2	0	1	3	4	2	
	T5																			

Pontuação	Action Level	Significado
1 ou 2	1	Indica posturas aceitáveis se não mantidas por longos períodos de tempo
3 ou 4	2	Indica que futura pesquisa é necessária e poderão ser precisas mudanças
5 ou 6	3	Indica a necessidade de investigação num futuro próximo
7	4	Indica que investigação e mudanças são requeridas urgentemente

Tarefa	Trab	Post	Lado	Grupo A								Grupo B								RULA Score	Nível de Ação
				Braço	Antebraço	Pulso	Rotação do pulso	Score tabA	...+ UM	...+ Força	Score A	Pescoço	Tronco	Pernas	Score tabB	...+ UM	...+ Força	Score B			
Pegar na ripa simples	T9	P1	E	2	2	1	1	3	0	0	3	2	1	2	3	0	0	3	3	2	
		P2	E	2	1	2	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
											3,00							2,50	3,0		
										0,0								0,7	0,0		
Pegar na ripa central	T8	P1	D	4	2	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	3	1	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
	T9	P1	D	2	1	1	1	3	0	0	3	1	3	2	4	0	0	4	4	1	
		P2	D	3	2	2	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2	
										3,75								2,50	3,3		
										0,5								1,0	0,5		
Pegar na ripa lateral	T8	P1	D	3	2	1	1	3	0	0	3	2	3	1	4	0	0	4	4	2	
	T9	P1	E	3	2	1	1	3	0	0	3	1	4	2	5	0	0	5	4	2	
	T10	P1	E	3	2	2	1	4	0	0	4	1	3	1	3	0	0	3	3	2	
										3,33								4,00	3,7		
										0,6								1,0	0,6		
Pegar na ripa dupla	T8	P1	E	4	2	2	1	4	0	1	5	2	1	1	2	0	1	3	4	2	
		P2	E	3	1	1	1	3	0	1	4	3	1	1	3	0	1	4	4	2	
	T10	P1	D	2	1	1	1	3	0	1	3	1	3	2	4	0	1	5	4	2	
		P2	E	5	1	3	1	5	0	1	6	3	1	1	3	0	1	4	6	3	
										4,25								4,00	4,5		
										1,7								0,8	1,0		
Fixar a ripa simples em baixo	T7	P1	D	4	1	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	4	2	3	1	4	0	0	4	2	3	1	4	0	0	4	4	2	
	T9	P1	E	4	2	3	1	4	0	0	4	1	1	1	1	0	0	1	3	2	
		P2	D	3	1	2	1	4	0	0	4	2	1	2	3	0	0	3	3	2	
		P3	D	2	2	2	1	3	0	0	3	1	2	2	3	0	0	3	3	2	
										3,80								2,60	3,2		
										0,4								1,1	0,4		
Fixar a ripa simples em cima	T7	P1	D	1	1	2	2	2	0	0	2	2	2	1	2	0	0	2	2	1	
		P2	D	4	2	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P3	D	5	2	2	1	6	0	0	6	2	1	1	2	0	0	2	4	2	
	T8	P1	E	1	1	2	2	2	0	0	2	4	2	1	5	0	0	5	4	2	
		P2	D	5	2	1	1	5	0	0	5	2	1	1	2	0	0	2	4	2	
		P3	E	4	2	2	1	4	0	0	4	4	1	1	5	0	0	5	5	3	
	T9	P1	D	5	2	1	1	5	0	0	5	2	1	1	2	0	0	2	4	2	
		P2	D	4	2	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P3	D	5	1	1	1	5	0	0	5	2	2	1	2	0	0	2	4	2	
	T10	P1	D	4	2	2	2	4	0	0	4	5	1	1	7	0	0	7	6	3	
		P2	D	4	2	1	1	4	0	0	4	5	1	1	7	0	0	7	6	3	
		P3	E	5	1	2	1	5	0	0	5	4	2	1	5	0	0	5	6	3	
										4,17								3,58	4,3		
										1,2								2,1	1,3		
Fixar a ripa dupla	T7	P1	D	2	1	1	1	2	0	1	3	2	3	1	4	0	1	5	4	2	
		P1	E	3	1	2	2	4	0	1	5	5	1	1	7	0	1	8	7	4	
	T8	P2	D	2	1	1	1	2	0	1	3	2	1	1	2	0	1	3	3	2	
		P1	D	3	1	2	1	4	0	1	5	2	1	1	2	0	1	3	4	2	
	T10	P2	D	2	1	2	2	3	0	1	4	1	1	1	1	0	1	2	3	2	
		P1	E	2	1	1	2	3	0	1	4	2	2	1	2	0	1	3	3	2	
										4,14								3,86	4,0		
										0,9								2,0	1,4		
Fixar a ripa central em baixo	T10	P1	E	3	1	1	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
	P2	E	3	1	2	1	4	0	0	4	3	2	1	3	0	0	3	3	2		
										3,50								2,50	3,0		
										0,7								0,7	0,0		
Fixar a ripa central em cima	T7	P1	D	3	1	2	1	4	0	0	4	2	2	2	3	0	0	3	3	2	
		P2	E	3	1	1	1	3	0	0	3	2	2	2	3	0	0	3	3	2	
	T9	P1	E	3	1	1	1	3	0	0	3	2	2	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	3	1	2	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
										3,50								2,50	3,0		
										0,6								0,6	0,0		
Fixar a ripa lateral	T7	P1	D	1	1	3	1	3	0	0	3	3	2	1	3	0	0	3	3	2	
		P2	E	4	2	2	1	4	0	0	4	3	2	1	3	0	0	3	3	2	
	T8	P1	D	1	1	1	1	1	0	0	1	3	2	1	3	0	0	3	3	2	
		P2	E	4	2	1	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2	
T10	P1	D	2	1	2	1	3	0	0	3	1	2	1	2	0	0	2	3	2		
	P2	E	4	2	1	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2		
										3,17								2,50	3,0		
										1,2								0,5	0,0		
Escrever Anotação	T8	P1	D	4	1	1	1	4	0	0	4	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
		P2	D	2	1	3	1	3	0	0	3	2	1	1	2	0	0	2	3	2	
	T9	P1	D	4	2	1	1	4	0	0	4	2	3	1	4	0	0	4	4	2	
		P2	D	4	2	2	1	4	0	0	4	2	2	1	2	0	0	2	3	2	
										3,75								2,50	3,3		
										0,5								1,0	0,5		
Aplicar cola	T7	P1	D	2	1	2	1	3	1	0	4	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
		P2	D	1	1	2	1	2	1	0	3	2	1	3	1	0	0	4	4	2	
		P3	D	1	1	2	1	2	1	0	3	3	2	1	3	1	0	4	4	2	
	T8	P4	D	3	1	2	1	4	1	0	5	2	1	1	2	1	0	3	4	2	
		P1	D	3	1	2	1	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
		P2	D	2	1	2	1	3	1	0	4	3	3	1	4	1	0	5	5	3	
	T9	P1	D	4	1	2	1	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
		P2	D	4	1	2	1	4	1	0	5	2	2	1	2	1	0	3	4	2	
		P3	D	1	1	2	1	2	1	0	3	2	2	1	2	1	0	3	3	2	
	T10	P1	D	1	1	2	1	2	1	0	3	1	3	1	3	1	0				

ANEXO 21 – COLD PRESS: CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

Produto Final	Código Movex	Nº colunas	Comprimento	Largura	Área M2	Nº Peças Coluna	Nº Peças Total	Tamanho das base board's	Altura palete	Altura palete + Base board	Espessura BOF	Nº peças Linha	NPC
		1	1424	504	0.717696	40	40	800*1600	1200	1219	30	5	7.697513
		1	1053	504	0.530712	40	40	800*1220	1200	1219	30	6	9.372512
		1	1005	735	0.738675	40	40	800*1220	1200	1219	30	6	9
		1	1001	723	0.723723	40	40	800*1220	1200	1219	30	5	9
		2	1012	354	0.358248	40	80	800*1200	1200	1219	30	5	10.441271
		2	995	334	0.332233	40	80	800*1200	1200	1219	30	6	10.157351
		1	1477	796	1.175692	38	38	800*1600	1406	1425	37	6	7.216599
		1	1829	796	1.455884	38	38	800*2000	1406	1425	37	6	5.079879
		1	1111	557	0.618827	28	28	800*1200	1400	1419	50	5	8.652596
		1	909	559	0.508131	28	28	800*1200	1400	1419	50	4	9.105105
		1	1108	532	0.589456	28	28	800*1200	1400	1419	50	6	7.919188
		1	1908	532	1.015056	28	28	800*2000	1400	1419	50	6	5.516693
		1	1189	789	0.938121	28	28	800*1200	1400	1419	50	4	6.26832
		1	1499	559	0.837941	28	28	800*1600	1400	1419	50	6	7.418535
		1	1753	790	1.38487	38	38	800*2000	1406	1425	37	6	5.04
		1	1126	796	0.896296	38	38	800*1200	1406	1425	37	6	7.3
		1	1291	589	0.760399	38	38	800*1600	1406	1425	37	6	8
		1	969	589	0.570741	38	38	800*1200	1406	1425	37	6	9.53577
		1	1004	604	0.606416	34	34	800*1220	1156	1175	34	6	8.5
		1	1204	604	0.727216	34	34	800*1220	1156	1175	34	5	7.69
		1	1504	754	1.134016	34	34	800*1600	1156	1175	34	6	6.995
		1	2004	604	1.210416	34	34	800*2020	1156	1175	34	5	5.5

Figura 148 - Características operacionais da Cold Press com base no produto final