



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Eduardo Nuno Braga Amorim

Reconfiguração de uma célula de montagem  
usando princípios *Lean Thinking* numa  
empresa de ferramentas de corte

Janeiro de 2024



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Eduardo Nuno Braga Amorim

Reconfiguração de uma célula de montagem  
usando princípios *Lean Thinking* numa  
empresa de ferramentas de corte

Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da  
Professora Doutora Anabela Carvalho Alves

Janeiro de 2024

## 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

Terminado este projeto gostaria de agradecer de forma geral a todos aqueles que se cruzaram comigo durante o meu percurso acadêmico e que tiveram um impacto positivo em mim.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer à minha família, e em particular aos meus pais, pelo apoio, pelo esforço que fizeram para que pudesse continuar o meu trajeto acadêmico e profissional e por terem estimulado a minha curiosidade pelo Mundo, pela ciência e pela História. À minha irmã que sempre se revelou um modelo de perseverança e disciplina. Em especial, quero agradecer aos meus avós por todo o carinho demonstrado, por todas as histórias de vida partilhadas e por se terem revelado uma peça chave na minha educação. A ti avô, espero que tenhas orgulho na pessoa que me tornei.

Um agradecimento também aos meus tios e primo que me deram a descobrir o mundo da Engenharia e, em particular, o ramo da Engenharia Industrial do qual agora faço, agora, orgulhosamente parte.

Quero, também, deixar o meu agradecimento aos amigos de longa data, e às novas amizades que fiz na Academia do Minho. Obrigado, pelos momentos inesquecíveis. Estes anos são viagem.

Relembro que este projeto não teria sido possível se a FREZITE, e em particular a FMT, não me tivesse concedido esta oportunidade. Quero deixar o meu agradecimento especial ao Eng.º Diogo Costa e ao Eng.º André Leite, por desde o primeiro dia me terem colocado à prova e me terem aguçado o espírito crítico e a capacidade de resolução de problemas. Aos restantes colegas do Departamento de Operações, agradeço a prontidão para ajudar sempre que necessário. Por fim, agradeço aos operadores da célula de montagem que desde o início revelaram uma postura construtiva em relação ao projeto.

Agradeço, também, à minha orientadora Professora Doutora Anabela Alves por desde o meu primeiro ano ter despertado em mim o interesse pelo *Lean Thinking* e, agora, no último ano, pela incansável disponibilidade e pelos ensinamentos que se revelaram úteis e que contribuíram para que este projeto chegasse a bom porto.



## 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.

Reconfiguração de uma célula de montagem usando princípios *Lean Thinking* numa empresa de ferramentas de corte.

## RESUMO

Este projeto de dissertação foi desenvolvido como parte integrante do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade do Minho num contexto empresarial, concretamente na *Frezite Metal Tooling*. O foco deste projeto foi o de reconfigurar a célula de montagem de modo a torná-la mais eficiente e flexível enquanto se reduziam custos e se melhoravam as condições de segurança. Para tal, teve-se por base os princípios *Lean Thinking*.

A metodologia seguida nesta dissertação foi a *Action-Research* cujas etapas são o diagnóstico, a identificação do problema e recolha de dados, planeamento de ações, a implementação das ações planeadas, a avaliação dos resultados e, por fim, a especificação da aprendizagem.

Numa primeira fase, foram identificados os desperdícios e analisadas as perdas, elaborando-se, para tal, diagramas de *spaghetti*, sequência-executante e realizado um estudo de tempos. Foram, também, calculados indicadores como a produtividade, o tempo de ciclo e o *takt-time*.

Posteriormente, foi seguida uma metodologia para a reconfiguração da célula, tendo-se identificado e criado as famílias de produtos, especificando os equipamentos e postos de trabalho. De seguida, procedeu-se à reconfiguração do *layout* da célula através do método CORELAP o que resultou numa redução de 23% na área ocupada pela célula, que em conjunto com o novo modo operatório, reduziu as movimentações em 51%. Foram, ainda, concebidos sistemas anti-erro, eliminadas atividades de não valor acrescentado e digitalizadas tarefas que permitiram reduzir o tempo de operação das três principais famílias de produtos E922, E993 e E991 em 25%, 17% e 16%, respetivamente.

Por fim, foi dado ênfase à organização e identificação da ferramentaria usada pela célula através da técnica 5S e gestão visual. Adicionalmente, foram concebidos equipamentos que melhoram o conforto do operador e a sua segurança. Todas as ações de melhoria culminaram numa poupança anual de 7109€.

## Palavras-Chave:

Célula de montagem, Layouts, Princípios Lean, 5S

Assembly cell reconfiguration using Lean Thinking principles in a cutting tool company.

## **ABSTRACT**

As a crucial component of the Industrial Engineering and Management Master's program at the University of Minho, this project was developed within the corporate realm of Frezite Metal Tooling. The main objective was to streamline the final assembly cell, enhancing its efficiency and adaptability, while also decreasing costs and enhancing safety measures. The principles of Lean Thinking were employed to achieve these goals.

Employing the Action-Research methodology, this dissertation progressed through various phases, such as initial diagnosis, problem identification and data collection, action planning, implementation of the devised strategies, assessment of the outcomes, and ultimately, assimilation of valuable insights.

In the first stage, waste was identified on the shop floor and losses were analysed, using spaghetti diagrams, sequence diagrams and a time analysis. Indicators such as productivity, cycle time and takt-time were also calculated.

Once the losses had been identified, a methodology was followed to reorganise the assembly cell, having identified and created product families, set up equipment and workstations. The cell layout was then redesigned using the CORELAP method, which resulted in a 23% reduction in the area occupied by the cell, that along with the adoption of a new operating mode, made it possible to reduce movements by 51%. Also, anti-error systems were designed, non-value-added activities were eliminated, and tasks were digitalised, reducing the operating time of the three main product families by 25%, 17% and 16%, E922, E993 and E991, respectively.

Finally, emphasis was placed on organising and identifying the tools the cell works with using the 5S technique and visual management. In addition, equipment was designed to maximise operator comfort and safety. In short, all the improvement actions lead up to an annual saving of 7109€.

## **Keywords**

Assembly cell, Layouts, Lean Principles, 5S.

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tabelas .....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xvii
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodologia de investigação.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	5
2 Revisão Bibliográfica .....	7
2.1 Lean Production System.....	7
2.1.1 Toyota Production System.....	7
2.1.2 Princípios Lean Thinking.....	9
2.1.3 Tipos de desperdícios .....	11
2.1.4 Ferramentas Lean .....	13
2.2 Sistemas de produção.....	19
2.2.1 Tipos de sistemas de produção.....	19
2.2.2 Projeto e reconfiguração detalhada de células.....	21
2.3 Projeto de implantações .....	25
2.3.1 Benefícios e objetivos do estudo de layouts .....	25
2.3.2 Métodos para o projeto de layouts .....	26
3 Apresentação da empresa.....	30
3.1 Grupo FREZITE.....	30

3.2	Frezite Metal Tooling (FMT) .....	30
3.2.1	História da FMT .....	30
3.2.2	Matérias-primas, famílias de produtos e componentes das ferramentas.....	31
3.2.3	Descrição do sistema de produção.....	33
4	Descrição e análise da situação atual .....	39
4.1	Descrição da área de estudo – célula de montagem .....	39
4.1.1	Descrição geral e layout.....	39
4.1.2	Método e organização da célula .....	41
4.1.3	Máquinas e equipamentos.....	41
4.1.4	Abastecimento de materiais.....	45
4.1.5	Processos e tarefas .....	45
4.2	Análise crítica e identificação de problemas .....	50
4.2.1	Estudo de tempos.....	50
4.2.2	Análise ao takt-time e produtividade da célula .....	52
4.2.3	Elevado número de deslocamentos e transportes .....	55
4.2.4	Elevado número de atividades que não acrescentavam valor .....	59
4.2.5	Procedimento de embalagem inadequado e processo ineficiente.....	61
4.2.6	Elevado número de não conformidades.....	62
4.2.7	Inexistência de política de abastecimento de materiais e consumíveis.....	63
4.2.8	Desatualização dos procedimentos operativos da Montagem .....	66
4.2.9	Desorganização do material e ferramentaria da célula.....	66
4.2.10	Falta de segurança e condições de ergonomia inadequadas .....	68
4.2.11	Falta de polivalência dos operadores.....	69
4.2.12	Resumo dos problemas identificados .....	70
5	Apresentação de propostas de melhoria .....	71
5.1	Reconfiguração da célula de montagem.....	72

5.1.1	Identificação e formação de famílias de produtos .....	72
5.1.2	Instanciação de máquinas e equipamentos.....	76
5.1.3	Instanciação de postos de trabalho .....	85
5.1.4	Organização e implantação intracelular .....	88
5.1.5	Integração e coordenação da célula no sistema de produção.....	101
5.1.6	Novo Procedimento para a definição de embalagens.....	106
5.2	Aplicação da técnica 5S e gestão visual .....	108
5.2.1	Primeira etapa: triar.....	108
5.2.2	Segunda etapa: arrumar .....	109
5.2.3	Terceira etapa: limpar.....	110
5.2.4	Quarta etapa e quinta etapa: padronizar e disciplinar .....	110
5.2.5	Gestão Visual.....	111
5.3	Digitalização e melhoria de processos.....	112
5.3.1	Lista de tecnologias .....	112
5.3.2	Gravação semiautomática de ferramentas.....	113
5.3.3	Folha de material.....	115
5.4	Plano de Formação .....	116
6	Análise e discussão de resultados .....	119
6.1	Redução da área da célula de Montagem .....	119
6.2	Redução de atividades e de tempo de não valor acrescentado .....	121
6.3	Redução atividades de transportes e movimentações.....	123
6.3.1	Ajuste do <i>layout</i> da célula .....	124
6.3.2	Implementação do sistema de abastecimento de materiais .....	126
6.4	Redução de não-conformidades.....	127
6.5	Melhoria das condições ergonómicas e de segurança .....	128
6.5.1	Condições de segurança.....	128

6.5.2	Condições ergonômicas.....	129
6.6	Síntese dos ganhos obtidos .....	130
7	Conclusões.....	132
7.1	Considerações Finais .....	132
7.2	Trabalho futuro .....	134
	Referências Bibliográficas .....	136
	Apêndices .....	141
	Apêndice 1 – Diagramas de Análise de Processo das famílias E922, E993 e E991.....	141
	Apêndice 2 – Coordenadas e distâncias euclidianas entre os centros de massa de cada equipamento da célula da montagem .....	144
	Apêndice 3 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993.....	145
	Apêndice 4 – Diagramas de Ishikawa para as não-conformidades.....	153
	Apêndice 5 – Consumo médio diário de embalagens nos primeiros sete meses de 2023.....	155
	Apêndice 6 – Consumo de Pernos e Parafusos .....	157
	Apêndice 7 – Matriz de competências da célula de montagem .....	159
	Apêndice 8 – Análise ABC por unidades e por valor de vendas .....	160
	Apêndice 9 – Matriz de Relacionamento para aplicação do método CORELAP .....	163
	Apêndice 10 – Distribuição das tarefas por cada operador segundo o modo Working Balance.....	164
	Apêndice 11 – Standardized Work Chart para famílias E922 e E993 .....	168
	Apêndice 12 – Standardized Work Combination Table para famílias E993 e E991 .....	169
	Apêndice 13 – Código em VBA do algoritmo de seleção de embalagens .....	171
	Apêndice 14 – Inventário da célula da Montagem .....	179
	Apêndice 15 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993 após implementação de melhorias .....	180
	Anexos .....	190
	Anexo 1 – Rotina de limpeza das tinas de lavagem da célula de montagem.....	190
	Anexo 2 – Função de distribuição Normal Padrão .....	191

Anexo 3 – Carta Antropométrica ..... 192



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo da Metodologia Investigação-Ação.....	4
Figura 2 - Casa TPS.....	8
Figura 3 - Standardized Work Chart.....	17
Figura 4 - Standardized Work Combination Table.....	17
Figura 5 - Process Capacity Sheet.....	17
Figura 6 - Organização genérica de um SPOF.....	20
Figura 7 - Relação entre projeto genérico, concetual e detalhado (A. Alves, 2007).....	22
Figura 8 - Projeto detalhado de SPOP (A. Alves, 2007) .....	22
Figura 9 - Diagrama de Relacionamento.....	27
Figura 10 - Divisões do Grupo Frezite .....	30
Figura 11 - Layout atual da FMT .....	34
Figura 12 - Layout da célula de montagem.....	40
Figura 13 - Célula de Montagem .....	41
Figura 14 - Tinas de lavagem a quente e a frio, da esquerda para a direita, respetivamente .....	46
Figura 15 - Bancada de montagem .....	46
Figura 16 - Máquina de medição.....	47
Figura 17 - Máquina de Equilibragem e de Furação, respetivamente.....	47
Figura 18 - Cabine de Gravação e PC de apoio (bancada de gravação) .....	48
Figura 19 - Embalagem com etiqueta colocada .....	48
Figura 20 - Comparação entre o tempo de ciclo e o takt-time para cada família. ....	54
Figura 21 - Gráfico da produtividade mensal da célula de montagem.....	55
Figura 22 - Diagrama de Spaghetti para a família E922 .....	56
Figura 23 - Diagrama de Spaghetti para a família E991 .....	57
Figura 24 - Diagrama de Spaghetti para a família E993.....	58
Figura 25 - Embalagem de madeira e de cartão revestidas com esponja preta, respetivamente. ....	61
Figura 26 - Gráfico de Pareto por Causas de não-conformidade .....	64
Figura 27 - Diagrama de Pareto das não-conformidade imputadas à Montagem.....	62
Figura 28 - Exemplo de uma folha de material .....	65
Figura 29 - Evidência da desorganização do material da bancada de montagem.....	67
Figura 30 - Mala e armário de ferramentas da montagem .....	67

Figura 31 - Colocação de uma ferramenta na tina de limpeza.....	68
Figura 32 - Manuseamento de uma ferramenta no colo.....	69
Figura 33 - Banca disponível na célula de montagem .....	69
Figura 34 - Exemplo de uma ferramenta E992 semelhante a E991 e a E993, respetivamente. ....	75
Figura 35 – Conceito genérico a adotar para a bancada de montagem.....	79
Figura 36 - Projeto proposto por Fornecedor A (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).....	82
Figura 37 - Projeto proposto por Fornecedor B (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).....	82
Figura 38 - Projeto proposto por Fornecedor C (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).....	83
Figura 39 - Protótipo para sistema de movimentação das ferramentas nos tanques de limpeza .....	84
Figura 40 - Evolução do WIP da célula de montagem nos primeiros sete meses de 2023 .....	87
Figura 41 - Diagrama de Muther .....	89
Figura 42 - Alternativa de layout 1).....	90
Figura 43 - Alternativa de layout 2).....	91
Figura 44 - Alternativa de layout 3).....	92
Figura 45 - Standarddized Work Chart para a família E991 - Operador 1.....	99
Figura 46 - Standarddized Work Chart para a família E991 - Operador 2/3.....	100
Figura 47 - Standardized Work Combination Table para a família E922 .....	101
Figura 48 - Divisão dos números de caixas pelas covetes. ....	102
Figura 49 - Exemplo da base e do topo de uma embalagem separados e encaixados, respetivamente .....	104
Figura 50 - Exemplo de base de embalagem compatível com dois topos.....	104
Figura 51 - Exemplo de caixas empilhadas.....	106
Figura 52 - Menu de introdução de dados do algoritmo de embalagens .....	107
Figura 53 - Material armazenado na mala de ferramentas .....	108
Figura 54 - Chaves sextavadas duplicadas .....	109
Figura 55 - Locais de arrumação de ferramentaria da bancada de montagem. ....	110
Figura 56 - Exemplo de uma etiqueta de um material.....	111
Figura 57 - Identificação do material nas prateleiras da bancada de montagem .....	112
Figura 58 - Mala de ferramentas da montagem.....	112

Figura 59 - Lista de Tecnologias de Gravação.....	113
Figura 60 - Menu software para a gravação de ferramentas em sequência .....	114
Figura 61 - Protótipo de gabari para gravação .....	115
Figura 62 - Excerto da folha de material da célula de montagem .....	116
Figura 63 - Layout final da célula de montagem .....	119
Figura 64 - Nova estante de pernos e parafusos incorporada na bancada de montagem .....	120
Figura 65 - Nova bancada de montagem.....	120
Figura 66 - Nova bancada de gravação e de embalagem, respetivamente.....	120
Figura 67 - Diagrama de spaghetti para a família E922 após implementação de melhorias.....	124
Figura 68 - Diagrama de spaghetti para a família E993 após implementação de melhorias.....	125
Figura 69 - Diagrama de spaghetti para a família E991 após implementação de melhorias.....	125
Figura 70 - Sistema de controlo de altura da bancada de montagem .....	129
Figura 71 - Novo banco da célula de montagem.....	130
Figura 72 - Suportes para manipulação de ferramentas.....	130
Figura 73 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E922 .....	141
Figura 74 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E993 .....	142
Figura 75 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E991 .....	143
Figura 76 - Diagrama de Ishikawa para "Sujidade nas ferramentas" .....	153
Figura 77 - Diagrama de Ishikawa para "Cortante esmilhado/fissurado" .....	153
Figura 78 - Diagrama de Ishikawa para "Furos de lubrificação obstruídos" .....	154
Figura 79 - Diagrama de Ishikawa para "Montagem incorreta" .....	154
Figura 80 - Diagrama de Ishikawa para "Gravação incorreta" .....	154
Figura 81 - Matriz de Competências dos operadores da célula de montagem.....	159
Figura 82 - Standardized Work Chart para a família E922.....	168
Figura 83 - Standardized Work Chart para a família E993.....	168
Figura 84 - Standardized Work Combination Table para a família E991 - Operador 1 .....	169
Figura 85 - Standardized Work Combination Table para a família E991 - Operador 2 .....	169
Figura 86 - Standardized Work Combination Table para a família E993 .....	170
Figura 87 - Checklist da rotina de limpeza das tinas de lavagem da célula de montagem .....	190
Figura 88 - Carta Antropométrica (Barroso et al., 2005). .....	192

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Pontuação e critério para cada Grau de Relacionamento (A. Alves & Abreu, 2020). .....	27
Tabela 2 - Motivo ou razão da importância de relacionamento dada .....	27
Tabela 3 - Descrição das principais famílias de produtos .....	31
Tabela 4 - Descrição de materiais e componentes das ferramentas .....	32
Tabela 5 - Descrição do material de embalagem .....	33
Tabela 6 - Máquinas e equipamentos existentes na célula de montagem .....	42
Tabela 7 - Espaços de armazenamento e arrumação existentes na célula de montagem .....	43
Tabela 8 - Tarefas executadas na célula de montagem, por família de produtos .....	49
Tabela 9 - Frequências das tarefas especiais por família de produtos .....	51
Tabela 10 - Resultados do Estudo de Tempos. ....	52
Tabela 11 - Dados de entrada e Resultados do cálculo do Takt-time para as famílias E922, E993 e E991. .....	54
Tabela 12 - Distâncias percorridas por família de produto por dia .....	59
Tabela 13 - Tabela resumo dos diagramas de sequência-executante.....	60
Tabela 14 - Custos de não qualidade imputados à célula de montagem .....	63
Tabela 15 - Resumo dos problemas identificados .....	70
Tabela 16 - Plano de ações 5W2H .....	71
Tabela 17 - Resumo da análise ABC às unidades e às vendas de produtos produzidos. ....	72
Tabela 18 - Tarefas executadas na célula de montagem, para as famílias de categoria A e B. ....	74
Tabela 19 - Máquinas e Equipamentos utilizados na montagem de ferramentas de cada família. ....	77
Tabela 20 - Comparação entre Fornecedor A, B e C.....	83
Tabela 21 - Cálculo do número de operadores para cumprir objetivo diário.....	86
Tabela 22 - Cálculo do número de operadores considerando WIP médio e máximo.....	87
Tabela 23 - Código e motivo para a atribuição do Grau de Relacionamento.....	89
Tabela 24 - Valor do TCR e ordem de Alocação   Método CORELAP .....	89
Tabela 25 - Análise de fatores ponderados para cada alternativa de layout .....	94
Tabela 26 - Proporção da carga alocada a cada operador após aplicação de Working Balance .....	97
Tabela 27 - Cálculo do número de covetes a colocar na bancada de montagem .....	102
Tabela 28 - Resumo do plano de formação para os operadores da célula de montagem .....	118

Tabela 29 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E922 .....	121
Tabela 30 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E993 .....	122
Tabela 31 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E991 .....	123
Tabela 32 - Diferença da distância percorrida entre layout inicial e final. ....	126
Tabela 33 - Ganho obtido com implementação de sistema de abastecimento à montagem .....	126
Tabela 34 - Poupança gerado pela implementação do sistema de abastecimento .....	127
Tabela 35 - Resumo das propostas de mitigação das não-conformidades. ....	127
Tabela 36 - Estimativa dos custos totais anuais das não-conformidades .....	128
Tabela 37 - Poupança consequente da redução do tempo de operação .....	131
Tabela 38 - Tabela síntese dos ganhos obtidos.....	131
Tabela 39 - Coordenadas e distâncias euclidianas entre os centros de massa de cada equipamento da célula da montagem .....	144
Tabela 40 - Diagrama de sequência-executante da família E922 .....	145
Tabela 41 - Diagrama de sequência-executante da família E991 .....	147
Tabela 42 - Diagrama de sequência-executante da família E993 .....	150
Tabela 43 - Consumo médio diário de embalagens .....	155
Tabela 44 - Análise ABC às unidades consumidas de pernos e parafusos .....	157
Tabela 45 - Análise ABC por unidades vendidas .....	160
Tabela 46 - Análise ABC por valor de vendas.....	161
Tabela 47 - Matriz de Relacionamento para aplicação do método CORELAP .....	163
Tabela 48 - Distribuição das tarefas da célula de montagem por operador. ....	164
Tabela 49 - Inventário da montagem após triagem .....	179
Tabela 50 - Diagrama de sequência-executante da família E922 após melhorias.....	180
Tabela 51 - Diagrama de sequência-executante da família E991 após melhorias.....	182
Tabela 52 - Diagrama de sequência-executante da família E993 após melhorias.....	187
Tabela 53 - Função de distribuição normal padrão (Costa, 2019). ....	191

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AR – Action-Research

BOM – Bill of Materials

CORELAP - Computerized Relationship Layout Planning

ERP – Enterprise Resource Planning

FMT – FREZITE METAL TOOLING

GM – General Motors

HM - Hard Metal

IA – Investigação-Ação

JIT – Just-In-Time

LMERT – Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho

MES – Manufacturing Execution System

OF – Ordem de Fabrico

OPF – One-Piece-Flow

PCD – Diamante policristalino (*polycrystalline diamond*)

SMED - Single Minute Exchange of Dies

SPL - Systematic Layout Planning

TC - Tempo de Ciclo

TPS – Toyota Production System

TT – Takt-time

VBA – Visual Basic for Applications

WIP – Work-In-Process

# 1 INTRODUÇÃO

Ao longo deste capítulo é descrito o enquadramento em que se desenrolou a presente dissertação de mestrado, apresentando-se, de seguida, os principais objetivos da mesma. Adicionalmente, é detalhada a metodologia de investigação sob a qual se baseou este projeto e, por fim, é apresentada a estrutura da dissertação.

## 1.1 Enquadramento

Todas as organizações devem ter como um dos principais focos o aumento da sua competitividade, quer pela produção de artigos diferenciados e de elevado valor acrescentado, quer por produzi-los com a melhor qualidade possível, a um preço competitivo, enquanto se reforça a flexibilidade do sistema produtivo e a sua sustentabilidade (Kulkarni et al., 2021). Contudo, se há algumas décadas a maioria das empresas competia nos mercados nacionais e contra outras organizações domésticas, atualmente, a competição é global e os desafios acrescidos (Alves et al., 2015).

Esta competição acrescida, forçou as organizações a procurarem novas ferramentas e métodos numa tentativa de aumentar a sua eficiência de forma a reduzir custos (OECD, 2007). Em adição, a globalização de mercados mudou o mapa do emprego, mas não o seu nível, ou seja, existem quebras de emprego em algumas áreas que são compensadas por outras. Um dos setores mais expostos é a indústria que atua em mercados internacionais e que não foi capaz de se adaptar às exigências destes, nomeadamente, no que concerne à requalificação de mão-de-obra não especializada (OECD, 2007).

Neste contexto, sai reforçada a preponderância das ferramentas *Lean* e, talvez mais importante, o *Lean Thinking* (Alves et al., 2015; Amaro et al., 2020; Womack & Jones, 1996). Esta filosofia surgiu, primeiramente, nas fábricas de automóveis, em particular na empresa Toyota, no Japão numa fase posterior à II Guerra Mundial, devido à escassez de recursos e à alta competição interna. Estes fatores impulsionaram a Toyota a procurar novas soluções, ideias e metodologias, surgindo, assim, o termo *Toyota Production System* (Krafcik, 1988; Womack et al. 1990). Este sistema assenta em dois pilares fundamentais, *just-in-time* (JIT) e *jidoka* ("autonomação") e usa ferramentas como o *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), 5S e a produção puxada e conceitos como o respeito pelas pessoas, e a eliminação de desperdícios (Alves et al., 2012; Hines et al., 2004).

Tal como referido anteriormente, é imperativo que as organizações se adaptem em prol de uma melhor resposta ao mercado e, tendo em conta a diversidade de produtos e o rápido tempo de resposta que o

mercado exige, é necessário que o sistema produtivo de uma empresa seja capaz de corresponder da melhor maneira a este desafio. Neste sentido, é necessário reconfigurar o sistema de produção para enfrentar estas vicissitudes (Alves et al., 2015).

Como prova disso, é a necessidade da realização deste projeto na empresa *Frezite Metal Tooling* (FMT), empresa de ferramentas de corte para ligas metálicas, que se viu perante uma parte do sistema de produção, no caso particular, uma célula de montagem final, com desperdícios, não-conformidades e necessidade de adaptação a um aumento da taxa de produção.

Durante o ano de 2022 o Grupo Frezite foi adquirido na íntegra pelo grupo sueco Sandvik, passando a Frezite a integrar o grupo como uma Unidade de Negócio (*Strategic Business Unit*) da Walter, uma divisão da *Sandvik Machining Solutions*. Este negócio trará novos mercados e possibilidades à Frezite, e em particular à FMT que espera aumentar significativamente a sua produção a curto e médio prazo. Assim, é determinante que a FMT tenha a capacidade de satisfazer a procura da maneira mais eficaz possível, e para o alcançar deve aumentar a sua eficiência com vista a tirar o máximo de partido de cada recurso, quer sejam humanos, ou materiais.

Face às previsões de crescimento de produção, tornou-se evidente para a FMT que esta célula, tal como estava, ou seja, com os equipamentos, métodos e organização que dispunha, não era capaz de acompanhar este crescimento. Além disso, era também desejo dos responsáveis, modernizar e equipar a célula com equipamentos, máquinas e/ou bancadas de trabalho, que facilitassem a função dos operadores não só numa perspetiva de acompanhamento da produção, mas também humana e de segurança no trabalho.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste projeto foi o de reconfigurar uma célula de montagem numa empresa de ferramentas de corte para metal de acordo com os princípios *Lean Thinking* para que consiga montar ferramentas no valor de 55.000€ por dia. Para tal, estabeleceram-se as seguintes etapas:

- estudar e entender o processo produtivo e, em particular, as operações finais de montagem;
- apresentar e avaliar várias ações de melhoria do sistema tendo em conta os requisitos exigidos e eventuais restrições, físicas, ergonómicas e económicas;
- implementar o plano de ações;
- elaborar várias medidas que permitam manter o processo estável;



- formar colaboradores para que estes tenham uma rápida adaptação aos novos equipamentos e métodos de trabalho.

Assim, espera-se:

- aumento da flexibilidade do sistema;
- redução do número de não-conformidades;
- redução do *lead time*;
- redução do impacto ambiental;
- simplificação do fluxo de materiais e pessoas;
- redução da área da célula;
- melhoria das condições de segurança e ergonómicas;
- aumento da produtividade;
- redução de custos.

### 1.3 Metodologia de investigação

Atendendo ao facto que este projeto foi conduzido no seio de um contexto industrial, contactando com problemas e restrições reais, considerou-se que a metodologia de investigação “Investigação-Ação” (IA), em inglês: *Action-Research* (AR), seria a mais adequada. Esta metodologia foi proposta pelo psicólogo Kurt Lewin nos anos 30 do século passado, e o seu objetivo era o de melhorar a organização de comunidades e grupos civis (Somekh & Zeichner, 2009).

Até à data, a investigação era conduzida com base em questionários e em métodos puramente estatísticos. Este novo método apresentado por Lewis consiste num processo iterativo de averiguação dos factos, planeamento da ação e avaliação de resultados. De referir que, neste método, o investigador despende bastante tempo na definição e refinação do método de investigação, a coletar, analisar e apresentar dados de forma estruturada e sólida. Este processo é repetido, naturalmente, a cada iteração da investigação (O’Brien, 1998).

Adicionalmente, num programa de investigação que se rege pela Investigação-Ação, não é possível prever *a priori* a natureza exata da investigação a ser desenvolvida. Esta nuance advém do facto de que apesar de se planear determinado caminho ou plano de ação, o investigador não deve apresentar uma postura rígida face ao mesmo, na medida em que este deve ser flexível às condições vigentes e não deve ser inexorável face ao planeamento inicial sob pena de deixar escapar questões/tópicos relevantes à investigação (Somekh & Zeichner, 2009).

Deste modo, este ciclo iterativo (Figura 1) é descrito por (O'Brien, 1998) como tendo os seguintes cinco passos:

- Diagnóstico: identificação do problema e recolha preliminar de dados já existentes;
- Planeamento: planeamento de várias ações a seguir que podem ser independentes entre si;
- Ação: implementação completa das ações planeadas;
- Avaliação: interpretação e avaliação dos dados produzidos pelas ações;
- Especificação da Aprendizagem: reavaliação do problema, identificação dos problemas já resolvidos e recomeço de novo ciclo.

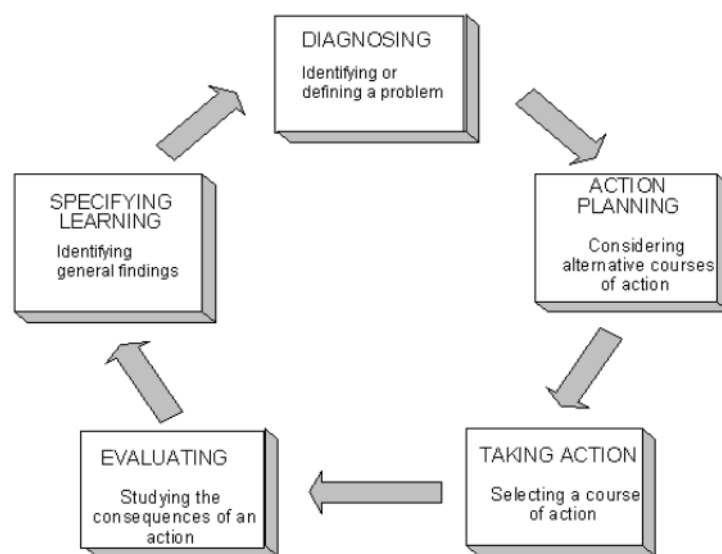


Figura 1 – Ciclo da Metodologia Investigação-Ação.  
(Susman & Evered, 1978)

Assim, este foi o ciclo seguido durante o projeto, sendo que, inicialmente, foi fulcral recolher todo o tipo de dados já existentes, bem como investigar e coletar outros tais como, fluxo de materiais e pessoas, tarefas executadas neste centro de trabalho, tempos de operação por família de produtos, não-conformidades imputadas à célula de montagem, entre outros. No total, este ciclo demorou cerca de 4 meses: de março a junho de 2023.

Durante esta fase foram utilizadas ferramentas, como por exemplo, diagrama de *spaghetti*, o diagrama de análise de processo e a identificação de desperdícios. Foram, ainda, utilizados conceitos do Estudo de Tempos e Métodos para calcular tempos padrão de operação.

Posteriormente, na segunda fase, foi desenvolvido um plano de ações com datas de entrega e responsáveis que visasse atacar os principais desperdícios identificados na fase de diagnóstico. Como base para a síntese das ações a executar utilizou-se a ferramenta 5W2H.

Na terceira fase procedeu-se à implementação das ações cujo custo-benefício fosse vantajoso, tal como a reorganização do *layout* recorrendo ao método CORELAP, a formação de famílias de produtos, a aplicação de 5S, gestão visual e *standard work*.

Seguidamente, após implementação verificou-se se, de facto, as ações executadas surtiram o efeito desejado e se seriam necessários ajustes.

Finalmente, sintetizou-se o conhecimento produzido nesta dissertação, sinalizando-se os ganhos obtidos e lições aprendidas. Também foram discutidas ideias para trabalho futuro.

#### 1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo é a presente introdução onde é apresentado o enquadramento desta dissertação bem como são definidos os objetivos para o projeto. De seguida, são tecidas considerações sobre a metodologia adotada ao longo do desenvolvimento deste projeto: Investigação-Ação.

No segundo capítulo, foi elaborada uma revisão bibliográfica que pretendeu averiguar o atual estado da arte relativamente a tópicos como a origem do *Toyota Production System*, algumas ferramentas *Lean* e os princípios *Lean Thinking*. Ainda foram tecidas considerações sobre os tipos de sistemas de produção, como projetar e reconfigurar sistemas de produção e, especificamente, como abordar e que ferramentas utilizar aquando da reconfiguração de um *layout* de um sistema produtivo.

Com a escrita do terceiro capítulo, o objetivo foi o de apresentar a empresa onde este projeto foi desenvolvido e enquadrá-la no mercado global das ferramentas de corte. Procurou-se, também, apresentar as matérias-primas, os principais produtos e componentes e o seu sistema de fabrico de forma global.

O quarto capítulo focou-se especificamente no centro de trabalho alvo do projeto, sendo que são descritos os vários processos de fabrico, bem como os materiais, máquinas e equipamentos utilizados. Esta descrição é essencial para que se possa entender o funcionamento e processo da célula, fazendo um diagnóstico destes. Por fim, foram tecidas considerações sobre os problemas e falhas do centro, fazendo uso de dados históricos, da recolha de novos dados, ou da observação direta no *gemba*.

Após este diagnóstico, no quinto capítulo, foram apresentadas várias propostas de melhoria que pretendiam corrigir os aspetos negativos levantados no capítulo anterior. Para tal, foi seguida a metodologia do projeto e reconfiguração detalhado de células apresentado por Alves (2007).

No sexto capítulo foi realizada uma análise ao impacto real das propostas de melhoria apresentadas e, por fim, no capítulo sete são redigidas as conclusões finais sobre o projeto desenvolvido, comparados os resultados alcançados com os objetivos propostos inicialmente e tecidas considerações sobre trabalho futuro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Numa fase inicial a qualquer projeto de investigação, importa averiguar o estado da atual da arte no que aos conceitos abordados concerne. Assim, importa apurar todo o conhecimento já sistematizado relativo ao *Lean Production System*. Dentro deste, é referida a filosofia inerente: o *Lean Thinking* e os cinco princípios em que se baseia. Também são apresentados os desperdícios que se podem encontrar num sistema de produção e quais as suas características. Ademais, são abordadas técnicas específicas como os 5S, *Standard Work* e gestão visual. De seguida, são apresentados os tipos de sistemas de produção classificados relativamente ao tipo de implantação e, de uma forma mais detalhada, o estudo do projeto do *layout* de um sistema de produção.

### 2.1 Lean Production System

Esta secção trata o aparecimento do *Toyota Production System*, abordando o contexto socioeconómico em que surgiu e aos seus principais impulsionadores. Adicionalmente, é explicada a origem do termo *Lean Production* e explanados os princípios *Lean Thinking*. Por fim, são abordados os sete desperdícios e as ferramentas *Lean* utilizadas neste projeto.

#### 2.1.1 Toyota Production System

O Sistema de Produção da Toyota, em inglês *Toyota Production System* (TPS), surgiu nas fábricas de automóveis da Toyota no Japão numa fase posterior à II Guerra Mundial, devido à escassez de recursos e à alta competição interna e teve como seus principais impulsionadores Eiji Toyoda, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo (Ohno, 1988). Adicionalmente, o mercado em que a Toyota estava inserida exigia uma elevada variedade de produtos comparado com outras construtoras, forçando a marca a incrementar e a focar-se na flexibilidade do seu sistema de produção (Liker, 2004). Este sistema destacou-se de outras grandes marcas de automóveis da época como a General Motors (GM) e a Ford, visto que estas se baseavam na produção em larga escala para produzir o máximo de exemplares possível ao menor preço possível (Holweg, 2007; Liker, 2004).

O TPS começou a ganhar reputação e a ser considerado como um modelo a seguir nos anos 80 quando os automóveis produzidos pela Toyota se revelaram superiores aos exemplares americanos em indicadores como fiabilidade e vida útil, tudo isto enquanto apresentavam no mercado um preço capaz de competir com as maiores marcas americanas (Liker, 2004).

O principal foco do TPS é o de manter a produção num ritmo contínuo e fluido, mas que permita fazer face às variações de procura, obrigando a que o sistema seja flexível e ágil. Um sistema de excelência deve, também, reger-se por uma filosofia de melhoria contínua através de, por exemplo, a eliminação de desperdícios e flutuações nos processos de forma que o produto final seja fabricado cumprindo os padrões de qualidade, a um menor custo possível e com o menor prazo de entrega possível (Liker, 2004). Todos estes requisitos devem resultar num encurtamento do intervalo de tempo entre a ordem de encomenda do cliente e o momento em que ocorre o pagamento dessa encomenda (Ohno, 1988).

Este sistema assenta em dois pilares fundamentais, *just-in-time* (JIT) e *jidoka* (“autonomação”) e visa a busca pela perfeição. Inclui, inovações como o SMED, 5S ou conceitos como o respeito pelos operadores, a produção puxada e a eliminação de desperdícios (Alves et al., 2012; Hines et al., 2004).

O termo *Lean Production* foi apresentado por Krafcik (1988) em “Triumph of the Lean Production System” e tornado popular por Womack, Jones e Roos em "The Machine That Changed the World" (1996). Este conceito emergiu, naturalmente, dos princípios e boas-práticas do TPS e introduziu estes conceitos a uma vasta audiência.

A Casa TPS surge numa tentativa de Taiichi Ohno esquematizar o conceito do TPS num formato visual e de fácil entendimento, sendo o objetivo final o de documentar para posteriormente divulgar os princípios sob os quais a Toyota se regia (Liker, 2004). O formato escolhido é o de uma casa visto que transmite quer a ideia de organização quer de robustez e de interdependência entre cada uma das partes. Assim, os objetivos, e o que de facto pode ser utilizado como indicadores de desempenho, estão no topo (telhado) enquanto os princípios e elementos fundamentais se encontram na base, sendo, portanto, as fundações (Liker, 2004) (Figura 2).



Figura 2 - Casa TPS.  
(Liker, 2004)

Concretizando, no topo da pirâmide estão objetivos como a elevada qualidade, tempos de entrega curtos, segurança no trabalho e alta moral entre todos os intervenientes. Como pilares que sustentam estes objetivos têm-se o conceito de “*Just-in-Time*” e *Jidoka*. O primeiro consiste na produção de um artigo na quantidade certo e no momento certo, visando a redução de *stocks* quer de produtos finais quer de produtos intermédios e de matérias-primas. O segundo pilar consiste no empoderamento da força de trabalho na medida em que os operadores têm a responsabilidade de parar um processo e/ou máquina caso seja detetada alguma anomalia impedindo que partes defeituosas avancem no fluxo de produção (Liker, 2004; Monden, 1994).

Ao centro encontra-se a filosofia de melhoria contínua, o trabalho de equipa, força de trabalho flexível e a eliminação de desperdícios. Por fim, na base, encontra-se a filosofia da Toyota, seguida da gestão visual, do nivelamento da produção e da standardização de processos. Segundo Ohno (1988) onde não existem padrões, não poderá existir melhoria.

### 2.1.2 Princípios Lean Thinking

O *Lean Production* veio trazer a discussão de tópicos complexos e, por vezes, contraintuitivos. Segundo esta sistema, parar uma máquina porque não existe procura de um determinado produto pelos clientes é mais vantajoso do que continuar a produzir sabendo que o produto acabado não será escoado e ficará em armazém indefinidamente. À semelhança do descrito, havendo, agora, procura por determinado produto, não é vantajoso produzir a uma cadência superior à procura do cliente apenas para que as máquinas e equipamentos tenham uma alta taxa de utilização (Liker, 2004). Esta abordagem entra em confronto direto com uma abordagem mais tecnocrata que visa apenas maximizar indicadores de eficiência e de *output* de qualquer máquina sem considerar o panorama geral (Hines et al., 2004).

Após o sucesso destas ferramentas na Toyota, a maioria das organizações passaram a encarar este sistema como algo credível e que, efetivamente, resulta, não tardando até que outros fabricantes de carros adotassem as práticas *Lean*. Deste modo, o conceito “Lean” expandiu-se, surgindo, o *Lean Thinking*. Este termo ganhou um significado mais abrangente, visto que engloba não só todas as ferramentas e conceitos do *Lean*, mas essencialmente pretende mudar toda a cultura organizacional de uma empresa (Hines et al., 2004).

Assim, surgiram os princípios *Lean Thinking* (Womack & Jones, 1996), uma série de premissas que visam dotar cada empresa de uma maior eficiência organizacional e colocá-la num caminho de melhoria contínua dos processos:

1. Valor: cada empresa deve averiguar os fatores que são de importância capital para o cliente (seja este interno ou externo). É essencial entregar ao cliente exatamente o que é relevante para o mesmo, ao preço e no prazo acordado. O principal desafio consiste em balancear o desejo por agradar o cliente e entregar um produto que poderá ter características irrelevantes para o mesmo, mas que se traduzem num aumento de custos de produção, e a necessidade de reduzir custos, comprometendo a qualidade do produto ou serviço a ser entregue. A satisfação do cliente através da identificação de valor é um dos pilares que sustentam qualquer empresa a longo-prazo e, segundo Womack e Jones (1996) este é o primeiro passo para adotar a filosofia *Lean Thinking* em qualquer organização.
2. Cadeia de valor: A identificação de desperdícios e oportunidades de melhoria pode ser facilitada pelo mapeamento visual e direto de toda a cadeia de valor, ou seja, desde o fornecedor até ao cliente final, de modo holístico. A cadeia de valor pode ser mapeada para um produto em específico ou para uma família de produtos, se necessário. Frequentemente, pode ser extremamente útil investigar a cadeia de valor do fornecedor de modo que possa ser possível eliminar desperdícios e reduzir custos que se refletirão, diretamente, no custo do produto final.
3. Fluxo de valor: visa a manutenção de um fluxo estável, contínuo e robusto, essencialmente, nas atividades que acrescentam valor ao produto/serviço. Contudo, são tidas em conta todas as atividades, incluindo as que não acrescentam valor ao produto. Este passo deve apenas ser tomado quando a cadeia de valor já tiver sido mapeada e todos os desperdícios evidentes tiverem sido mitigados ou eliminados. Este princípio visa atacar, essencialmente, a produção por lotes e enveredar por um fluxo contínuo de materiais, mesmo quando se trata de produzir quantidades relativamente pequenas de determinados produtos. Essencialmente, a criação e manutenção de um fluxo alto e constante visa diminuir tempos de entrega desde a conceção de produto até ao cliente final. Contudo, este princípio pode relevar-se contranatura na medida em que implica um redesenho total dos sistemas de uma organização, acabando com os departamentos e funções rígidas (Womack & Jones, 1996).
4. Produção puxada: a produção deve ser despoletada por uma ordem do cliente (interno ou externo). Este princípio tem o condão de impedir que se acumulem *stocks* de produtos finais ou que nunca serão comprados pelo cliente porque nunca foram sequer desejados pelo mesmo. Cada ordem de produção deve ser lançada havendo vontade expressa do cliente em adquirir esse mesmo produto. Aplicado este método é possível reduzir tempos de produção para valores



inferiores a metade. Este princípio é um dos mais exigentes de implementar na perfeição, visto que implica tempos de resposta ao cliente muito curtos e uma flexibilidade organizacional elevada.

5. Busca pela perfeição: nenhum sistema é estático e as oportunidades de melhorias são inúmeras, nunca se devendo presumir que determinado posto ou sistema já se encontra perfeito ou ótimo (Hines et al., 2004). Nesta fase é, também, essencial incluir todos os membros da organização na identificação de desperdícios e resolução de problemas, pois quanto mais se exige de um sistema, mais ineficiências e, conseqüentemente, oportunidades de melhoria emergem.

Apesar destes princípios terem surgido no seio da indústria automóvel, a ideia de produzir produtos diferenciados e de elevada qualidade, usando menos *stock*, menos recursos humanos e com menor investimento é transversal a qualquer indústria que pretenda prosperar (A. C. Alves et al., 2017) . Neste sentido, urge tomar cada processo ou atividade de cada empresa como algo dinâmico e passível de ser melhorado, como por exemplo, o seu sistema produtivo.

### 2.1.3 Tipos de desperdícios

A busca pela perfeição e pela eficiência só é possível de alcançar quando todos os desperdícios estiverem eliminados. *Muda* é a palavra japonesa que significa desperdício, e a sua eliminação deve ser um dos objetivos principais de qualquer organização (Womack & Jones, 1996). Aliás, segundo Ohno (1988), a identificação e eliminação de desperdícios é o primeiro passo para implementação do TPS.

Assim, existem, sete tipos de desperdícios (Hicks, 2007; Ohno, 1988):

- Sobreprodução: a existência destes desperdícios significa que estão a ser produzidos bens sem qualquer ordem de encomenda associada ou procura. Além disso, a produção de um produto final antes de ser realmente necessário para entrega ao cliente ou de modo mais rápido do que a procura, é também, sobreprodução. Este desperdício é crítico na medida em que pode encobrir outras ineficiências (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014).
- Esperas: esperas são todos os momentos em que operador e/ou máquina se encontra parado pois não dispõe de material para laborar ou porque ocorreu alguma avaria no sistema que impede a laboração (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014). Ocorre quando o processo imediatamente antes falha em entregar a tempo os componentes e materiais necessários ao centro de trabalho a jusante. Este facto pode criar uma reação em cadeia visto que o posto que se encontra em espera corre o risco de falhar o abastecimento do posto seguinte, se aplicável.

- Transporte: este desperdício verifica-se quando existe movimento de materiais, nomeadamente produto intermédio, entre postos de trabalho ou secções de uma fábrica. O transporte de materiais dentro de chão de fábrica não é algo a que o cliente esteja disposto a pagar, visto que não acrescenta qualquer valor ao produto. Este desperdício também deve ser minimizado, pois cada transporte, por mais curto que seja representa um risco de dano do produto, acarretando maiores custos de produção, e potencialmente, atrasos no prazo de entrega (Womack & Jones, 1996).
- Sobreprocessamento: toda e qualquer atividade que não é planeada, ou que fazendo parte do plano não acrescenta nenhuma característica ao produto pela qual o cliente final esteja disposto a pagar representa um desperdício. Sob a alçada deste tipo de desperdícios, também podemos encontrar operações de retrabalho que pretendam corrigir algum defeito detetado no produto.
- Inventário: Frequentemente, o excesso de inventário oculta outras ineficiências. Considera-se que existe inventário em excesso quando os materiais em *stock* não são necessários para cumprir as ordens de encomenda atuais, quer no que toca ao tipo de material, quer à sua quantidade. Este desperdício não só se refere ao excesso de inventário em armazém, como também ao produto intermédio que existe entre postos de trabalho (WIP). Para qualquer organização, o excesso de materiais representa um ativo com pouca liquidez, sendo que o capital despendido em materiais poderia ser empregue em outros investimentos mais importantes (Womack & Jones, 1996).
- Movimentações: Assim como o transporte de matérias dentro de fábrica é um desperdício, a movimentação desnecessária de pessoas também é. Sempre que um operador se movimenta, existe uma tarefa que não está a ser executada, um produto em espera, e conhecimento que não está a ser utilizado (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014). Incluído neste tipo de desperdício estão movimentos significativos tais como a movimentação de uma linha de produção para outra e até micro—movimentos dentro de um posto de trabalho (Rajab et al., 2022).
- Defeitos: um produto defeituoso é todo e qualquer produto que não cumpre a 100% os requisitos de produção (Rajab et al., 2022), ou seja, não está apto para seguir para o cliente, seja ele interno ou externo. Como consequência, o aparecimento de defeitos pode gerar, retrabalho, alteração do *design* do produto, mudanças do processo, entre outros. Todas estas repercussões significam, impreterivelmente, um aumento dos custos de produção. De notar que quando

ocorre a produção de uma parte defeituosa, existe tempo e conhecimento despendido por parte de um operador que está a ser desperdiçado (Arunagiri & Gnanavelbabu, 2014).

Segundo Liker (2004), existe ainda um oitavo desperdício - não aproveitamento do potencial humano. Este desperdício gera-se quando não se envolvem os operadores ou qualquer outro membro de uma organização na tomada de decisão, ou pelo menos, na consulta de ideias e planos que envolvem direta ou indiretamente esse membro da organização. Frequentemente, a pessoa mais indicada para ajudar a melhorar um processo é a pessoa que o executa diariamente e que acumula anos de experiência, fazendo todo o sentido que este membro seja consultado e envolvido nos planos de ações, sob pena de se perder informação valiosa e decisiva.

Como mencionado, estes desperdícios podem ser agrupados com a palavra *muda* que significa em japonês “desperdício”. Contudo, a palavra *muda* surge muitas vezes associada a outro dois termos igualmente relevantes: *mura* e *muri* (Liker, 2004):

- *Muri*: significa sobrecarga e é empregue quando existem situações em que máquinas e/ou operadores operam acima do seu limite natural ou teórico. Este facto pode resultar em lesões para os operadores ou avarias quando se trata de máquinas e equipamentos.
- *Mura*: significa variabilidade do processo. Por outras palavras, representa a falta de estabilidade e fiabilidade de um sistema ou processo. Por exemplo, um operador ou equipamento pode ter momentos em que está sobrecarregado e outros em que se encontra em espera, ou o processo pode estar sob controlo num instante, no outro estar fora de controlo e depois voltar à normalidade sem que nenhuma ação tenha sido executada (Euclides A., 2009).

#### 2.1.4 Ferramentas Lean

Ao longo desta secção são descritas as ferramentas Lean que se revelaram chave para a condução adequada do projeto, tais como a técnica 5S, Gestão Visual, Standard Work e mecanismos *Poka-Yoke*.

##### 2.1.4.1 Técnica 5S

A técnica 5S advém de cinco palavras japonesas: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke*, que coletivamente se traduzem em atividades de limpeza, arrumação e disciplina. Em qualquer organização e em qualquer posto de trabalho, incluindo até nos escritórios, com o avanço do tempo é frequente que se acumule lixo, utensílios não necessários, que podem passar desde material de escrita, ferramentas auxiliares, materiais que já não são necessários, entre outros. Estes objetos criarão, certamente, entropia que acabará por prejudicar as normais operações do posto de trabalho. Adicionalmente, a tendência é a

de não retornar os utensílios á sua posição inicial e a de negligenciar a sua limpeza e integridade (Monden, 1994).

De forma a combater esta adversidade, deve-se aplicar a técnica 5S. Esta técnica consiste na organização geral que visa dotar qualquer posto de trabalho de somente as ferramentas que são necessárias e num estado de integridade e limpeza adequado, estado este que se deve manter e resistir ao avanço do tempo. Desta forma, segundo Liker (2004) e Monden (1993) as cinco palavras japonesas podem ser descritas como:

- **Triar (*seiri*):** a primeira fase da aplicação dos 5S consiste na triagem dos itens necessários e dos que são dispensáveis. Uma abordagem utilizada frequentemente é a de colocar etiquetas vermelhas nos itens que não são utilizados. Mais tarde, estes itens são colocados numa zona *ad hoc* fora do posto de trabalho. Após um período de tempo definido *a priori*, caso se verifique que estes utensílios não foram utilizados pelos operadores do posto de trabalho em causa, o material deve ser enviado para o lixo ou então alocado a outros postos de trabalho.
- **Arrumar (*seiton*):** concluída a primeira fase e restando apenas no posto de trabalho os materiais necessários, estes têm de ser devidamente identificados. Além da identificação, é, também, uma boa-prática colocar os materiais de uma forma visualmente apelativa em que seja fácil de denotar qualquer falta de material. Por exemplo, podem ser usadas caixas, suportes, imagens ou então cavidades com o formato do material de modo que apenas o material em causa encaixe.
- **Limpar (*seiso*):** uma limpeza simples e frequente, como por exemplo, no final de cada turno de trabalho, pode ter efeitos notáveis. Esta rotina tem o condão de detetar anomalias quer em materiais quer em máquinas e previne, certamente, o aparecimento de pequenas avarias.
- **Padronizar (*shitsuke*):** a implementação das três primeiras fases iniciais desta técnica não terá o efeito desejado a médio e longo prazo se não se criarem regras e se atribuírem responsabilidades aos colaboradores que permitem monitorizar a aplicação desta técnica. Nesta fase, devem-se envolver quer operadores, quer chefias diretas para a criação de, por exemplo, normas visuais, códigos de cores ou listas de verificação.
- **Disciplinar (*seiketsu*):** a criação de rotinas é essencial para a manutenção de qualquer estado. Desta forma, é necessário inculcar o hábito de cumprir os passos supracitados através da comunicação com as equipas do chão-de-fábrica e a realização de auditorias que permitam

quantificar através de questões e parâmetros objetivos o cumprimento das regras previamente estabelecidas.

A aplicação na íntegra desta ferramenta *Lean* permite não só criar um espaço de trabalho mais agradável para os operadores, mas também obter ganhos produtivos significativos. A título de exemplo, este ganho advém do tempo que já não é despendido na procura de materiais ou na busca de utensílios por outras zonas que não o próprio posto de trabalho. Adicionalmente, os 5S são uma ferramenta intrinsecamente relacionada com a Gestão visual descrita na secção seguinte, pois é facilmente detetável qualquer discrepância entre o que está definido como norma e o estado atual (Liker, 2004; Muotka et al., 2023)

Esta ferramenta, além de poder ser um objetivo *per si*, assume-se, também, como um suporte para o fluxo constante de produtos ou serviços de modo a atingir a perfeição. Assim, mais do que uma série de atividades interligadas, a ferramenta 5S implica uma mudança de atitude cujo objetivo é atingir um estado de minimalismo e arrumação (Liker, 2004).

#### 2.1.4.2 Gestão Visual

O aumento da complexidade das operações de uma empresa obriga à criação de mecanismos simples que permitam a identificação de padrões, ferramentas ou outros de maneira acessível e simples (Parry & Turner, 2006). Uma dessas maneiras é a gestão visual que, segundo este autor, são ferramentas auxiliares de comunicação que ajudam ao decorrer normal das operações, sejam estas de escritórios ou de chão-de-fábrica. Tezel et al. (2016) afirma, ainda, que a gestão visual não é mais que a utilização de vários dispositivos de fácil compreensão, mas que têm a capacidade de transmitir informação de uma forma direta, simples e, essencialmente, de forma apelativa e cativadora.

Segundo Imai (2012) a gestão visual está intrinsecamente ligada à ferramenta 5S, descrita na secção anterior, na medida em que os problemas têm de ser facilmente identificados por qualquer colaborador, permitindo *a posteriori* a correção dos mesmos e implementação de ações preventivas.

As vantagens da aplicação de instrumentos de gestão visual são imensas, como descreveu Wilson (2010) afirmando que a implementação desta técnica tem benefícios no que respeita ao aumento da produtividade de uma organização, na medida em que os dados ou instruções são apresentadas no instante correto ao operador correto, quer seja por quadros, etiquetas, marcas no chão ou códigos de cores. No caso de algo falhar, o operador é capaz de visualmente identificar a anomalia e reportá-la.

Tal como a técnica 5S, o envolvimento de todas as pessoas dentro da organização, desde a administração até ao chão-de-fábrica é essencial para o sucesso desta técnica, na medida em que quanto mais

enraizado estes conceitos estiveram na cultura organizacional, mais apoio haverá da direção e mais receptividade à introdução destes mecanismos haverá por parte dos operadores do chão-de-fábrica (Muotka et al., 2023).

#### 2.1.4.3 Standard Work

O *Standard Work* é uma ferramenta do TPS que consiste na descrição e formalização de procedimentos operativos de modo que estes sejam executados de uma e uma só maneira, ou seja, de modo *standard*, para que se obtenha um tempo constante de produção (Ohno, 1988). O objetivo principal desta ferramenta é o de eliminar variação e inconsistências na execução de tarefas independentemente do operador que a executa.

Tal como referido na secção 2.1.1, a standardização de processos é uma ferramenta fundamental na Casa do TPS, pois segundo Ohno (1988), “não pode haver melhoria onde não existe standard”, ou seja, a padronização do trabalho é essencial visto que é a base para que se possa a partir daí melhorar qualquer processo.

A ferramenta *standard work* é composta por três componentes (Liker, 2004; Monden, 1994):

- *Takt-Time*: é a cadência a que o cliente exige determinado produto, ou seja, é o ritmo da procura;
- *Standard Work Sequence*: é um documento que dita a ordem pela qual as tarefas devem ser executadas de modo que o *takt-time* seja cumprido.
- *Standard WIP*: estipula o nível mínimo de inventário intermédio para que seja mantido um ritmo contínuo de produção.

Adicionalmente, com vista à implementação desta ferramenta utilizam-se os seguintes documentos (Liker & Meier, 2007; Monden, 1994):

- *Standardized work chart*: permite mapear e indicar a localização dos materiais e máquinas em relação ao *layout* do centro de trabalho. Adicionalmente este documento deve indicar o *takt-time* do posto de trabalho, a sequência de tarefas e a quantidade necessária de WIP para que seja possível manter a fluidez do processo. A partir deste documento, também é possível identificar desperdícios e tarefas repetitivas (Figura 3).

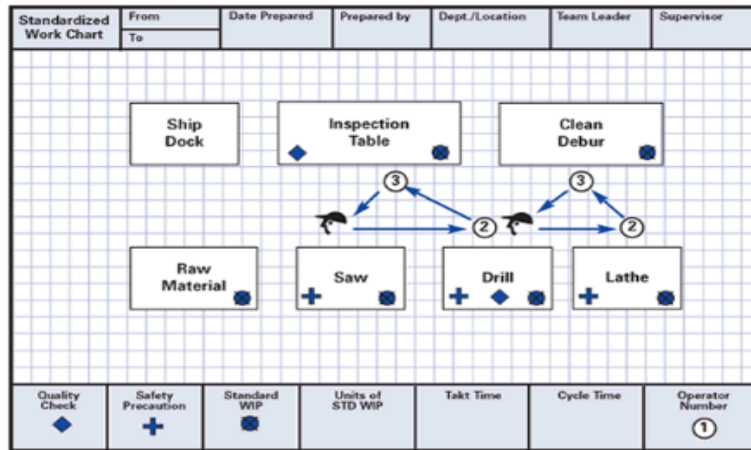


Figura 3 - Standardized Work Chart.

- *Standard work combination table*: esta folha ilustra a relação entre o tempo de operação manual, tempo de movimentação e tempo de processamento da máquina para cada ciclo de trabalho e para cada operador. Adicionalmente é representado o *takt-time* de modo a balancear e reorganizar, se necessário, o tempo de operações manuais de cada operador (Figura 4).

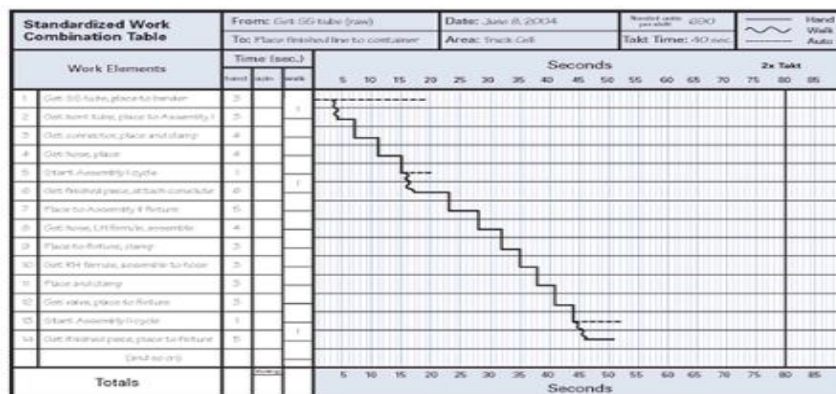


Figura 4 - Standardized Work Combination Table.

- *Process capacity sheet*: é usada para analisar a capacidade de produção de cada equipamento, denotando tempos de *setup* e permite identificar o *bottleneck* do sistema (Figura 5).

Process Capacity Sheet		Approved by:		Part #		Application		Entered by:	
				Part name		Line			
#	Process name	Machine #	BASIC TIME			TOOL CHANGE		Processing capacity per shift	
			MANUAL	AUTO	COMPLETION	CHANGE	TIME		
1	Cut	cc 100	5	25	30	500	2 min.	896	
2	Rough Grind	gg 200	5	12	17	1000	5 min.	1570	
3	Fine Grind	gg 300	5	27	32	300	5 min.	823	

Figura 5 - Process Capacity Sheet.

As vantagens da aplicação deste conceito são inúmeras. Esta ferramenta permite a redução da variabilidade entre operadores e para o mesmo operador, redução de custos na medida em que permite detetar e, conseqüentemente, mitigar o tempo despendido na execução de tarefas que não acrescentam valor ao produto e melhoria da qualidade final do produto, isto é, estando o processo padronizado e estável é mais fácil garantir que o produto final é produzido sem defeitos e que foram executadas as tarefas que, de facto, acrescentam valor ao mesmo (Euclides A., 2009; Imai, 2012; Liker & Meier, 2007). Por outras palavras, a eficiência, qualidade e segurança dos processos saem reforçadas (Arezes et al., 2015).

#### 2.1.4.4 Mecanismos *Poka-Yoke*

Todas as operações que essencialmente envolvem uma tarefa manual ou dependente do operador são suscetíveis a erros e falhas. Assim, torna-se evidente a importância do desenvolvimento de mecanismos que previnam a produção de artigos defeituosos ou advertam para o caso de existir um artigo que não cumpre os requisitos (Shingo, 1989).

Deste modo, surge os mecanismos *poka-yoke*, termo que significa “prevenção de erro indesejado” em japonês, que consiste num método usado sobretudo para a prevenção de erros através do controlo mecânico ou físico a 100%, com vista a assegurar a qualidade dos produtos e evitar produtos defeituosos e/ou retrabalho (Shingo, 1989).

De acordo com (Shingo, 1989) é possível classificar estes mecanismos de duas formas distintas:

1. Mecanismos de controlo: que consistem em sistemas que no caso de ser detetado um erro automaticamente páram a máquina, até que esse erro seja corrigido e o processo volte ao seu estado natural de produção;
2. Mecanismos de advertência: estes sistemas não páram automaticamente a linha de produção ou a máquina em causa, mas apenas avisam o operador através de um sinal sonoro ou visual que foi produzido uma peça defeituosa.

A diferença essencial entre estes dois tipos de mecanismos está relacionada com o papel do operador. Enquanto nos mecanismos de controlo o operador é forçado a corrigir o erro antes de o processo ser retomado, nos mecanismos de advertência, caso o operador não preste atenção, ou seja, negligente, existe o risco de ser retomada a produção sem que determinado defeito tenha sido devidamente resolvido.



Segundo Shingo (1989) a aplicação de um ou de outro mecanismo é influenciada pela frequência em que ocorrem os defeitos e pela possibilidade ou não de este poderem ser resolvido rapidamente pelo operador.

De acordo com Hollnagel (2016), os mecanismos anti-erro podem ser agrupados em três classes:

1. Físicos: impedindo o livre fluxo de energia, informação ou matéria, por exemplo uma barreira ou parede;
2. Funcionais: caso estes sejam ativados mediante um acontecimento, por exemplo a digitação de uma palavra-passe;
3. Simbólicos: caso seja necessário a atenção e análise por parte do operador: sinais visuais ou de alerta.

## 2.2 Sistemas de produção

Um sistema de produção é um conjunto de elementos interligados entre si que visa a produção de produtos, incluindo bens tangíveis e serviços intangíveis, a partir de recursos e através de um processo de produção, criando assim utilidade através do aumento do valor acrescentado (Hitomi, 1996). Segundo Alves (2007) existem dois tipos genéricos de sistemas produtivos: sistemas orientados à função (SPOF) e orientados ao produto (SPOP).

### 2.2.1 Tipos de sistemas de produção

Um sistema orientado à função (SPOF) está organizado em áreas funcionais e cada área é composta por uma série de máquinas similares. Este tipo de sistemas, é extremamente flexível, sendo possível a manufatura de uma grande variedade de produtos, visto que não implica mudanças de *layout* quando é iniciada a produção de um novo produto (Carmo-Silva et al., 2006). Adicionalmente estes sistemas são caracterizados por produzirem lotes pequenos ou mesmo unitários tendo em conta a elevada especificidade de cada produto.

Devido à variabilidade entre produtos, é frequente que existam retrocessos de materiais, ou seja, um produto pode passar mais do que uma vez na mesma área funcional para realização de operações diferentes mesmo que isso implique um “recuo” no processo produtivo. Isto advém do facto que, nem para todos os produtos, o arranjo espacial do chão-de-fábrica corresponde à sequência operatória de determinado produto, podendo criar alguma entropia no fluxo de materiais e pessoas. De toda a forma, aquando do estudo de implantações, o *layout* selecionado deve minimizar ao máximo o número de

retrocessos necessários, devendo-se ter em conta a sequência operatória mais frequente dentro da gama de produtos (Alves, 2007).

Contudo, estas configurações acarretam desvantagens significativas no que a desperdícios concerne, nomeadamente, as excessivas movimentações de materiais e de pessoas, visto que a realização de pelo menos dois processos distintos implica a movimentação quer do operador, quer de materiais entre duas áreas funcionais (Alves et al., 2015). Adicionalmente, este tipo de implantações é caracterizado por altos níveis de *Work-In-Process* (WIP), prazos de entrega elevados e baixos níveis de utilização de máquinas, pessoas e outros equipamentos (Alves, 2007). Em suma, os Sistemas de Produção Orientados à Função devem ser aplicados em indústrias com elevada variedade de produtos e de sequências operatórias que partilhem as mesmas unidades funcionais. Na Figura 6 encontra-se ilustrada a organização genérica de um SPOF.

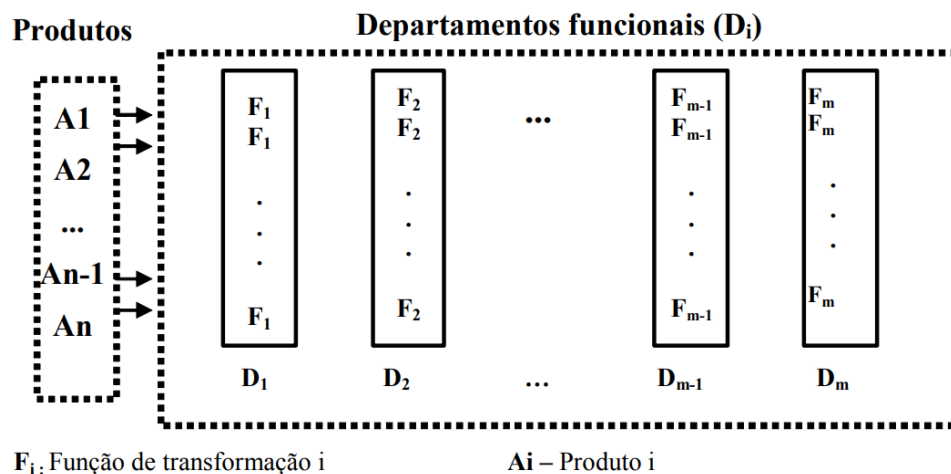


Figura 6 - Organização genérica de um SPOF.

(Alves, 2007)

Um sistema orientado ao produto (SPOP), segundo Alves (2007) é um sistema de produção composto por uma série de recursos de produção integrados que estão envolvidos na manufatura de um produto ou uma família de produtos semelhantes. Estes sistemas caracterizam-se por terem elevadas taxas de produção, baixa flexibilidade no que à produção de novos produtos respeita, podendo não conseguir acompanhar a evolução e diversificação do mercado. Contudo, estes sistemas apresentam desperdícios muito reduzidos e são úteis para a produção em massa de artigos iguais ou com várias características em comum, existindo pouco ou nenhum espaço para personalização (Alves et al., 2015).

Finalmente, as células de produção são sistemas híbridos que incorporam as vantagens das linhas de produção, por exemplo, maior produtividade e a flexibilidade das oficinas de produção (Baker, 1974). A ideia basilar destes sistemas é o agrupamento de máquinas e pessoas de acordo com as famílias de

produtos existentes, potenciando a flexibilidade do sistema e reduzindo desperdícios como as movimentações (Alves et al., 2015).

Existem vários tipos de células que podem ser categorizadas consoante o fluxo de materiais entre os vários postos de trabalho. Caso todos os produtos passem por todos os postos sem nunca haver retrocesso, estamos perante uma *pure flow shop* (Baker, 1974). Se existirem produtos que não necessitem de visitar todos os postos, mas que nunca precisem de visitar um posto pelo qual já passaram, considera-se a célula como uma linha com fluxo de transposição. Por fim se existir retrocesso, isto é, existirem produtos cuja sequência operatória implicar o retorno a um posto de trabalho já visitado, estamos perante uma célula de fluxo inverso (A. Alves, 2007).

### 2.2.2 Projeto e reconfiguração detalhada de células

Tal como exposto anteriormente, as células são um exemplo de sistemas de produção orientados ao produto que permitem dotar o sistema de certa flexibilidade mantendo níveis de produtividade e eficácia altos (Alves et al., 2015). Deste modo, frequentemente é possível e vantajoso transformar quer sistemas orientados ao produto, quer orientados à função em células de produção, com vista à redução de desperdícios e aumento da *performance* do sistema (Alves et al., 2015). No TPS as células são o sistema de produção preferencial (Monden, 1994).

Concretizando, segundo Alves (2007) as células de produção destacam-se pelas seguintes características:

- Baixa variedade de produtos;
- Elevada taxa de produção;
- Possibilidade de reconfiguração do sistema,
- Baixo tempo de produção;
- Sequência operatória bem definida e uniforme;
- Elevada qualidade dos produtos;
- Elevada taxa de ocupação dos operadores;
- Baixos tempos de *setup*.

Visto que as metodologias publicadas até então não abordavam o patamar estratégico e não estavam inteiramente focadas para o projeto de SPOP, Alves (2007) propôs uma metodologia para o projeto e/ou reconfiguração de SPOP, sejam linhas ou células de produção. Esta abordagem considera os aspetos estratégicos, táticos e operacionais, sendo composta por três fases principais: Projeto Genérico, Projeto Conceptual e Projeto Detalhado. A Figura 7 ilustra a sequência e as relações entre as três fases

mencionadas sendo que apenas será abordado com detalhe o Projeto Detalhado, visto que será esta a fase implementada neste projeto.

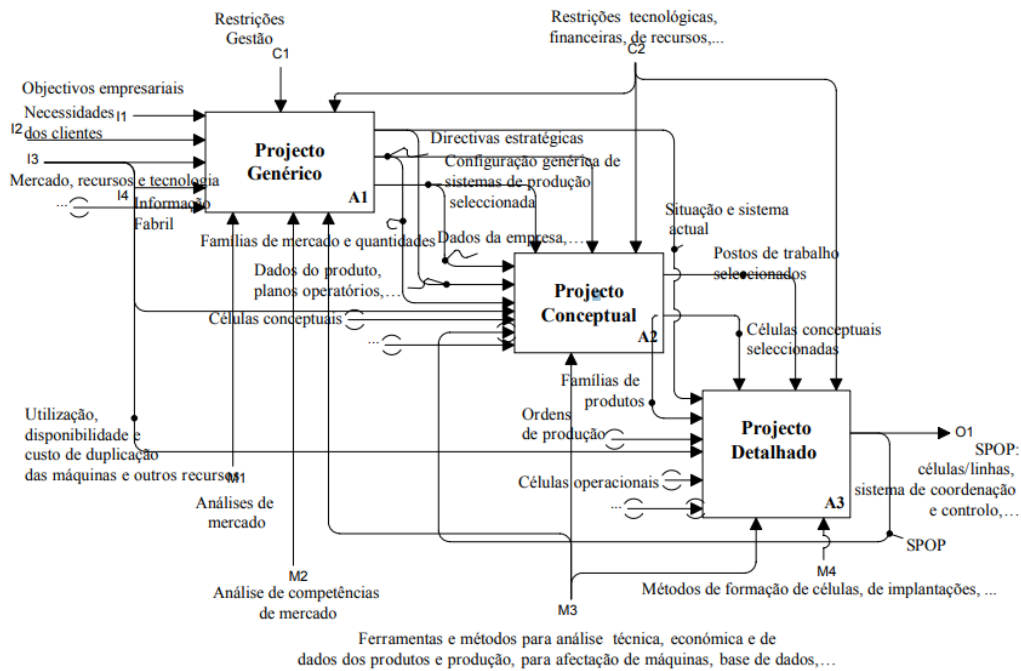


Figura 7 - Relação entre projeto genérico, conceptual e detalhado (A. Alves, 2007).

No Projeto Detalhado, cujas atividades estão presentes na Figura 8, irá refinar-se e detalhar as configurações e necessidades obtidas nas duas fases anteriores. Assim, esta etapa final é composta por cinco atividades: A31, A32, A33, A34 e A35.

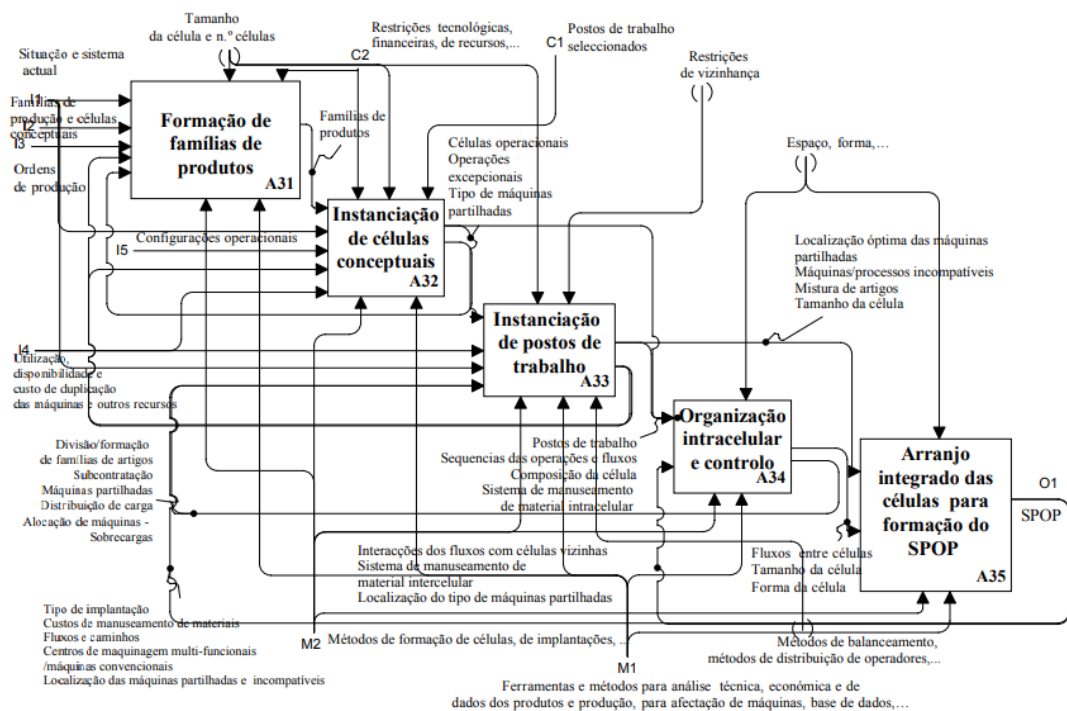


Figura 8 - Projeto detalhado de SPOP (A. Alves, 2007).

O primeiro passo, A31, consiste na seleção do produto e/ou formação de famílias de produtos. Para a constituição das famílias de produtos deve-se ter em consideração características do produto como a configuração geométrica, matéria-prima ou peso e o aspeto operacional, ou seja, a sequência produtiva ou equipamentos utilizados (Alves, 2007). Para tal, é possível usar procedimentos descritivos, análises de *clusters* e programação matemática, entre outros.

Seguidamente, na atividade A32, procede-se à instanciação de células conceituais onde se visa definir o número final de máquinas e equipamentos necessários, considerando o fluxo de materiais previsto e a capacidade para a célula. Para tal, é necessário conhecer os tempos de operação de cada tarefa para cada família de produtos, capacidade das máquinas, turnos disponíveis e a disponibilidade das máquinas.

Adicionalmente, importa definir o número de operadores necessários de modo a satisfazer a procura do mercado e balancear a célula – A33. Por outras palavras, a célula pode funcionar com um balanceamento multi-modelo em que se produzem sequencialmente lotes ou unidades iguais de cada produto, ou pode ser definido um balanceamento misturado em que são produzidos produtos com ligeiras diferenças na mesma célula (Alves, 2007).

Posteriormente, importa organizar e controlar o funcionamento interno de cada célula – atividade A34. Assim, deve ser definido, primeiramente, o *layout* interno da célula que deverá ter em consideração os seguintes parâmetros: distância percorrida pelos operadores, fluidez do fluxo de materiais e de pessoas, qualidade do produto e taxa de produção requerida (Alves, 2007). Alguns métodos para estudo de implantações são descritos na secção 2.3. Em segundo lugar, urge seleccionar o modo operatório que consiste na organização e alocação de postos de trabalho ou tarefas a cada operador consoante o tipo de produto em causa, as competências e habilitações de cada operador. Os modos operatórios mais empregues são (A. C. Alves, 2018):

- *Toyota Sewing System* (TSS): é um modo operatório flexível aplicado a célula que tipicamente tem 10 a 15 máquinas operadas por três a cinco operadores. Os operadores têm de ser polivalentes e os produtos intermédios são passados em mãos de um operador para o outro. Podem existir, ainda, tarefas partilhadas, ou seja, dois operadores têm a possibilidade de realizar a mesma tarefa, mediante a disponibilidade de cada um. A grande vantagem deste modo prende-se com a promoção da cooperação, comunicação e auto-organização dos operadores da célula.
- *Working balance*: método mais tradicional que consiste em alocar de modo equilibrado as tarefas a cada operador. Esta alocação é fixa, invariável e prevê que cada operador tenha uma carga

semelhante aos restantes. Contudo, é um método que não permite flexibilidade sendo que caso a sequência operatória ou o tempo de operação de alguma tarefa mude significativamente, é necessário repensar a alocação das tarefas.

- *Rabbit Chase*: consiste na execução de todas as tarefas por parte de um operador do início ao fim, sendo este o responsável pelo controlo do processo na íntegra. A adoção deste método implica que o operador seja totalmente polivalente e tenha a capacidade de executar todas as tarefas da célula. A capacidade de produção desta célula é tão maior quanto maior o número de operadores, mas o operador “mais lento” ditará o ritmo de produção visto que este modo não permite que um operador ultrapasse o outro.
- *Baton-touch*: este modo operatório incentiva que os operadores se organizam e comuniquem de modo semiautónomo, e permite que o operador atravesse a célula para realizar tarefas num outro posto de trabalho, ou seja, a área de atuação de um operador não tem de ser necessariamente contínua. Existe, também, a possibilidade de um dos operadores assumir o papel de líder e executar outro tipo de tarefas tais como tarefas de alimentação de componentes para a célula ou tarefas burocráticas.
- *Bucket-brigades*: consiste na organização dos operadores sequencialmente do mais lento para o mais rápido. Cada operador movimenta-se ao longo da linha com a sua peça executando todas as operações, sendo que não pode ultrapassar o colega que segue adiante. Quando o primeiro operador termina a execução de todas as tarefas, volta para trás, retira a peça ao seu antecessor e prossegue as operações nessa peça. Sempre que um operador se encontra sem peça, deve voltar atrás e retirá-la ao seu antecessor mais próximo. Com este sistema os operadores não estão restringidos a nenhuma zona de ação específica, havendo uma elevada flexibilidade (A. Alves & Oliveira, 2009).

Verifica-se ainda, que estes modos operatórios contribuem para uma menor fadiga e monotonia, visto que estes modos apresentam maior dinamismo e interação do que um típico ambiente de linha de produção onde as tarefas são tendencialmente repetitivas (Alves & Oliveira, 2009). Para qualquer modo operatório, a célula deve estar rearranjada em forma de U para minimizar deslocações e o fluxo de trabalho deve seguir o sentido contrário aos ponteiros do relógio (Alves, 2007). Contudo, segundo Miltenburg (2001) o fluxo de materiais e o conseqüente fluxo de operadores pode ocorrer, também, no sentido dos ponteiros do relógio.

Em terceiro lugar, após a seleção do modo operatório, é necessário sequenciar e lançar os produtos em lote, ou misturados ou em *one-piece-flow* (Sekine, 2005). As grandes vantagens deste último modo, é a minimização de *stocks* intermédios e um maior controlo e rastreio da produção. Ainda assim, será necessário definir critérios para o sequenciamento dos produtos, por exemplo, pela proximidade da data de entrega ou pelo menor tempo de processamento. Estas regras são relativamente simples e não consideram eventuais tempos de preparação de máquinas, pelo que se existirem devem ser aplicados algoritmos de escalonamento.

Por fim, na atividade A35 – arranjo integrado do SPOP, urge estudar e definir aspetos relacionados com o funcionamento geral do sistema produtivo, segundo uma visão holística. Assim, deve ser implementado um *layout* intercelular que vise a redução de custos de movimentação entre células. Contudo, para a definição da implantação de fábrica, também tem de ser considerados aspetos tais como, a partilha de máquinas, fluxo de materiais e incompatibilidade de processos (Alves, 2007). Na secção seguinte descreve-se em detalhe alguns métodos para projeto de implantações.

Algumas dissertações sobre reconfiguração de sistemas foram já realizadas recorrendo a esta metodologia, estando alguns resultados obtidos sintetizados em Alves et al.(2015a), Alves et al (2015b) e Alves & Oliveira (2009). Adicionalmente, outros trabalhos têm sido desenvolvidos recorrendo à mesma metodologia, nomeadamente, em Bastos et al. (2021), tendo-se percebido que desta forma fica mais fácil reconfigurar os sistemas, não esquecendo detalhes importantes nesta reconfiguração.

## 2.3 Projeto de implantações

Segundo Slack et al., (2010) o *layout* é a forma como os recursos de um sistema produtivo estão fisicamente posicionados, podendo estes ser máquinas, pequenos equipamentos ou postos de trabalho manuais. Ao longo desta secção são abordados não só os benefícios do estudo de *layouts*, mas também métodos para projetar e redesenhar implantações.

### 2.3.1 Benefícios e objetivos do estudo de layouts

A disposição física dos meios de produção tem impacto direto na eficiência de um sistema produtivo influenciando, nomeadamente, o fluxo de materiais e pessoas e potencialmente criando espaço para desperdícios como o transporte, esperas ou movimentações de operadores (Slack et al., 2010). Consequentemente, um *layout* adaptado às necessidades específicas de uma organização pode conduzir a uma redução de custos e uma melhoria no desempenho organizacional (Hari Prasad et al., 2014).

Assim, é imperativo que as organizações revejam os seus *layouts*, de modo a evitar que estes fiquem obsoletos e incapazes de se adaptar às exigências do mercado (Alves et al., 2015).

O redesenho de qualquer implantação deve ser realizado com vista a atingir os seguintes objetivos (Hari Prasad et al., 2014; Slack et al., 2010):

- Garantir a segurança de operadores e clientes;
- Satisfação da procura;
- Minimizar transporte de materiais e movimentações de operadores;
- Expor toda a informação sobre o fluxo de modo claro;
- Maximizar a acessibilidade a máquinas e equipamentos;
- Minimização do espaço total utilizado;
- Minimizar o custo de implantação (custo dos investimentos iniciais em máquinas e equipamentos)
- Maximizar flexibilidade (capacidade de ajustar posições de máquinas e equipamentos a longo prazo).

### 2.3.2 Métodos para o projeto de layouts

Ilustrada a preponderância da reorganização e do redesign do *layout* de um sistema produtivo urge abordar métodos que são utilizados para esta tarefa. A complexidade e o elevado número de possibilidades e combinações para o arranjo espacial de um sistema de produção, desencadeou uma busca por métodos mais rápidos e intuitivos que produzem soluções aceitáveis, ou seja, métodos heurísticos baseados em cálculo computacional, como por exemplo, o método CRAFT e CORELAP.

Os métodos de *design* de *layout* podem, também, ser divididos em dois tipos: os de “construção” em que não é necessário nenhum layout inicial, e os de “melhoria” e que o *layout* vigente de uma secção ou área é tomado como base para elaboração de hipóteses alternativas de implantação. Nesta secção serão abordados o método CRAFT e o CORELAP.

#### 2.3.2.1 Método CORELAP

O método *Computerized Relationship Layout Planning* (CORELAP) é um algoritmo de construção de *layouts* de implantações industriais proposto por Robert Lee e que se baseia no método *Systematic Layout Planning* (SPL) (Muther, 2015; Sembiring et al., 2018). Numa primeira fase é necessário criar um diagrama de relacionamento em que se atribui uma pontuação de 1 a 6 entre os vários departamentos (Tabela 1) dependendo do quão próximos ou não esses departamentos devem estar



(Sembiring et al., 2018). De notar que também é possível definir que duas áreas não devem de todos estar próximas.

Tabela 1 - Pontuação e critério para cada Grau de Relacionamento (A. Alves & Abreu, 2020).

Grau de Relacionamento (GR)	Proximidade	VGR
A	Absolutamente necessário	6
E	Muito importante	5
I	Importante	4
O	Desejável	3
U	Não importante	2
X	Não desejável	1

Os critérios para a atribuição da definição do grau de proximidade e consequente pontuação não são rígidos e dependem da atividade de negócio e tipo de sistema de produção e podem visar uma maior utilização de espaço ou facilitar a movimentação de materiais, entre outros. A Tabela 2 explicita alguns critérios referidos por A. Alves & Abreu (2020).

Tabela 2 - Motivo ou razão da importância de relacionamento dada.

Código Motivo	Motivo ou Razão
1	Movimentação de materiais
2	Movimentação de pessoas
3	Conveniência
4	Ruído
5	Luminosidade
6	Partilha de equipamento
7	Movimentação de equipamento

De modo a combinar quer o grau de relacionamento quer o motivo para a atribuição dessa pontuação, elabora-se o Diagrama de relacionamento. Neste diagrama, é ilustrado que atividades ou departamentos tem relação com outros e com que intensidade (Muther, 2015) - Figura 9.

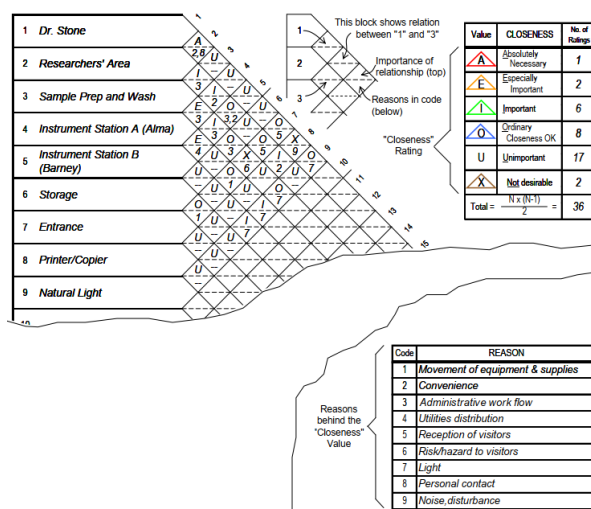


Figura 9 - Diagrama de Relacionamento.

Numa primeira fase, obtidos os valores do grau de relacionamento entre os vários departamentos, calcula-se o *Total Closeness Rating* (TCR) para cada departamento que resulta da soma dos valores do grau de relacionamento entre determinado departamento e todos os restantes (Chakroun et al., 2022; Sembiring et al., 2018).

De seguida, selecciona-se o departamento com maior TCR e coloca-se no centro do *layout*. Verifica-se qual o departamento que tem maior grau de relacionamento com o primeiro e coloca-se este numa posição de modo que os dois departamentos fiquem adjacentes. Este processo iterativo repete-se até que todos os departamentos estejam alocados. Como regra de desempate entre departamentos que tenham o mesmo grau de relacionamento com um outro, selecciona-se aquele com maior TCR geral, ou maior área, por esta ordem.

#### 2.3.2.2 Método CRAFT

O método *Computerized Relative Allocation of Facilities Technique* (CRAFT) é um método heurístico proposto por Buffa em 1964 para a melhoria de *layouts* de sistemas de produção. Ao contrário de vários métodos que procuram pela primeira vez criar uma implantação para determinado sistema produtivo, o método CRAFT permite redesenhar o *layout* de máquinas e equipamentos de secções já existentes, como por exemplo, numa célula de produção (Hari Prasad et al., 2014).

Este método requer inicialmente três matrizes de dados: matriz de fluxo entre secções/postos de trabalho, uma matriz de custo associado ao transporte de materiais entre postos e o *layout* vigente de determinada secção ou área a modificar (Slack et al., 2010). De notar que neste *layout* as várias secções ou postos de trabalho são representados por blocos simples.

O objetivo deste método é a minimização do custo total (CT) que é dado pela equação (1).

$$CT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} W_{ij} C_{ij} \quad (1)$$

Em que:

- $D_{ij}$  é a distância da secção  $i$  à secção  $j$ ;
- $F_{ij}$  representa o fluxo de materiais entre a secção  $i$  e a secção  $j$ ;
- $C_{ij}$  é o custo de movimentação entre secção  $i$  e secção  $j$ ;
- $n$  é o número de secções.

Concretizando, o custo total, segundo este método, é dado pelo somatório do produto entre distância, o custo de transporte e o fluxo de materiais entre todas as secções.

### 3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo é apresentada a empresa onde foi realizado o presente projeto, sendo descrita a sua história e evolução, principais matérias-primas, a sua estrutura organizacional e o seu sistema produtivo.

#### 3.1 Grupo FREZITE

A FREZITE – Ferramentas de Corte S.A. é uma empresa portuguesa de ferramentas de corte fundada em 1978 no concelho da Trofa. A sua área de negócio é, essencialmente, a comercialização de ferramentas de alta precisão para a maquinação de vários materiais, tais como madeira e ligas metálicas.

Em crescimento desde a sua fundação, a FREZITE tem apostado na inovação e no engenho para conseguir satisfazer os pedidos dos seus clientes que se demarcam por serem personalizados e altamente exigentes. Atualmente, a marca FREZITE já é comercializada em mais de 50 países do mundo. O Grupo FREZITE divide-se em quatro subunidades de negócio, representadas na Figura 10.

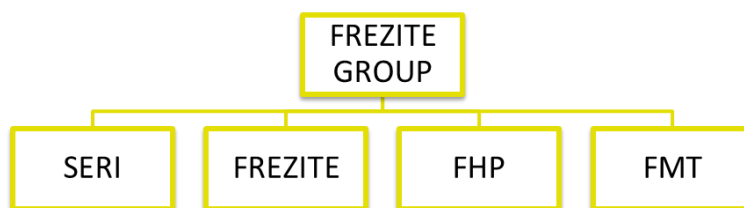


Figura 10 - Divisões do Grupo Frezite.

#### 3.2 Frezite Metal Tooling (FMT)

Este projeto foi desenvolvido especificamente na subunidade de fabrico de ferramentas de corte para maquinação de materiais metálicos - *Frezite Metal Tooling* (FMT). Esta unidade foi criada em 2005 com o foco na comercialização de produtos para a indústria aeronáutica e automóvel.

##### 3.2.1 História da FMT

Desde o início do século, apesar da crise financeira de 2008, registou-se um crescimento da indústria automóvel que exigiam ao mercado ferramentas de corte cada vez mais precisas e fiáveis (Mohr et al., 2013). Somando este facto à vasta experiência que a Frezite já tinha na produção destas peças, nasce a FMT em 2005. Desde o início que a FMT tem expandido a sua marca quer pela aquisição de empresas no estrangeiro, quer pela comercialização das suas ferramentas em mercados internacionais, quer pela inauguração de fábricas em países como o México, Brasil e República Checa. Atualmente, as instalações da FMT na Trofa têm cerca de 2000 m<sup>2</sup> (área produtiva) e conta com cerca de 100 colaboradores.

### 3.2.2 Matérias-primas, famílias de produtos e componentes das ferramentas

Para o fabrico do corpo das suas ferramentas a FMT recorre a dois tipos genéricos de matérias-primas: o metal duro ou o aço. O metal duro é um nome empregue quando se pretende referir a carboneto de tungsténio. Às ferramentas podem ser soldados cortantes de PCD (diamante policristalino) ou de outros materiais, tal como metal duro. Também é possível que os cortantes sejam acoplados ao corpo da ferramenta não por meio de solda, mas por aparafusamento mecânico.

Apesar da FMT comercializar ferramentas *standard*, o seu principal negócio é o de produzir ferramentas especiais, isto é, ferramentas desenhadas especificamente para realizar dada operação para um dado cliente. Tendo em conta este facto, é frequente a produção de lotes unitários ou de reduzida dimensão (2 a 4 unidades). De toda a forma, é possível agrupar o leque de produção em quatro grandes famílias:

- E922: ferramentas de metal duro integral;
- E993: ferramentas de metal duro com cortante de PCD;
- E991: ferramentas de aço com cortante de PCD;
- E931: ferramentas de aperto mecânico.

A Tabela 3 resume e explicita as famílias de produtos supracitadas.

*Tabela 3 - Descrição das principais famílias de produtos.*

Família	Descrição	Foto
E922	Ferramentas compostas integralmente por metal duro, partindo-se de uma barra sólida deste metal e não sendo utilizada qualquer outra matéria-prima para a fabrico do produto final.	
E993	Ferramentas com corpo de metal duro onde são soldados cortantes de PCD.	
E991	Ferramentas cujo corpo é composto por aço onde são soldados cortantes de PCD.	
E931	Ferramentas caracterizadas por terem um corpo de aço e por conterem "pockets" onde são, posteriormente, aparafusados os cortantes. Estas ferramentas são comumente designadas por ferramentas de "aperto mecânico".	





Apesar do sistema produtivo da FMT consistir essencialmente no uso de algumas matérias-primas principais, tal como as supracitadas, podem ser montados nas ferramentas alguns componentes. Esta montagem ocorre maioritariamente na célula de montagem, sendo, portanto, pertinente a referência a estes materiais. Além disso, serão evidenciadas, também, algumas características técnicas ou componentes relevantes para a presente dissertação na Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição de materiais e componentes das ferramentas.

Nome	Descrição	Foto
Cone	O cone é o componente que faz a conexão entre a ferramenta de corte em si e o sistema de aperto da máquina onde será utilizada essa ferramenta. A ferramenta pode estar “integrada” no cone, sendo tudo uma peça única.	
Encabadouro	O encabadouro é a parte da ferramenta que encaixa no cone e que não tem qualquer aresta de corte, possuindo uma forma cilíndrica e com baixa rugosidade.	
Shrink	<i>Shrinking</i> é o processo que permite acoplar uma ferramenta de encabadouro a um cone através do aquecimento deste último. O cone aquece, expande, a ferramenta é introduzida, e o arrefecimento do cone fixa a ferramenta.	
Aperto modular	O aperto modular permite acoplar um cone a uma ferramenta através de um sistema de parafusos. Este sistema permite ao cliente afinações mais precisas.	
Furo de lubrificação	O furo de lubrificação, tal como o nome indica, é um furo por onde passa lubrificante durante o processo de corte.	
Patim	O patim é um elemento que atua como guia da ferramenta. Normalmente é utilizado em mandris para garantir alta precisão do furo a ser maquinado. Não tem poder de corte.	
Parafusos (PF)	Peça cilíndrica com friso roscado em hélice	
Pernos (PR)	Assemelha-se a um parafuso, com a diferença que não possui “cabeça”, ou seja, pode ser totalmente introduzido no furo.	
Lâminas, Pastilhas, Buris	Tipos de cortantes que são aparafusados às ferramentas, podem ser feitos de diversos materiais.	

Tendo em conta que a presente dissertação se focou na célula de montagem e é neste posto de trabalho que se realizar a tarefa de embalagem, torna-se importante especificar alguns componentes e materiais usado neste processo (Tabela 5).

*Tabela 5 - Descrição do material de embalagem.*

Nome	Descrição	Foto
Tool holder	O <i>tool holder</i> é um componente de plástico que tem como função suportar a ferramenta pelo seu cone. Coloca-se dentro da embalagem para que a ferramenta fique imóvel.	
Carapuça	A carapuça é um componente feito de material emborrachado cuja função é proteger os cortantes da ferramenta de eventuais colisões.	
Esonja branca	A esponja branca tem a forma de um disco de vários diâmetros e colocada quer na base da embalagem, quer no topo para evitar o contacto direto da ferramenta com o plástico da embalagem, protegendo, assim, quer os cortantes quer o cone da ferramenta.	
Esonja preta	A esponja preta é cortada à medida da embalagem e pode ser utilizada para revestir caixas de madeira, cartão e plástico quando necessário.	

### 3.2.3 Descrição do sistema de produção

A *Frezite Metal Tooling* está organizada numa implantação por função, isto é, as suas máquinas e equipamentos estão organizadas pelo tipo de operações que realizam e pela similaridade entre as mesmas. Assim, além de algumas áreas de apoio à produção, o sistema de produção encontra-se dividido em 13 áreas produtivas:

1. Programação
2. Serrote;
3. Retificação;
4. Helicoidais HM (*Hard Metal*);
5. Helicoidais PCD (Polycrystalline Diamond);
6. Afiamentos;
7. Soldadura;
8. Maquinagem;
9. CTD (Centro Diamante);
10. RTDT (Retificação Diamante);
11. Montagem;
12. Inspeção Final.
13. Áreas de Apoio

A Figura 11 ilustra o layout atual da FMT.

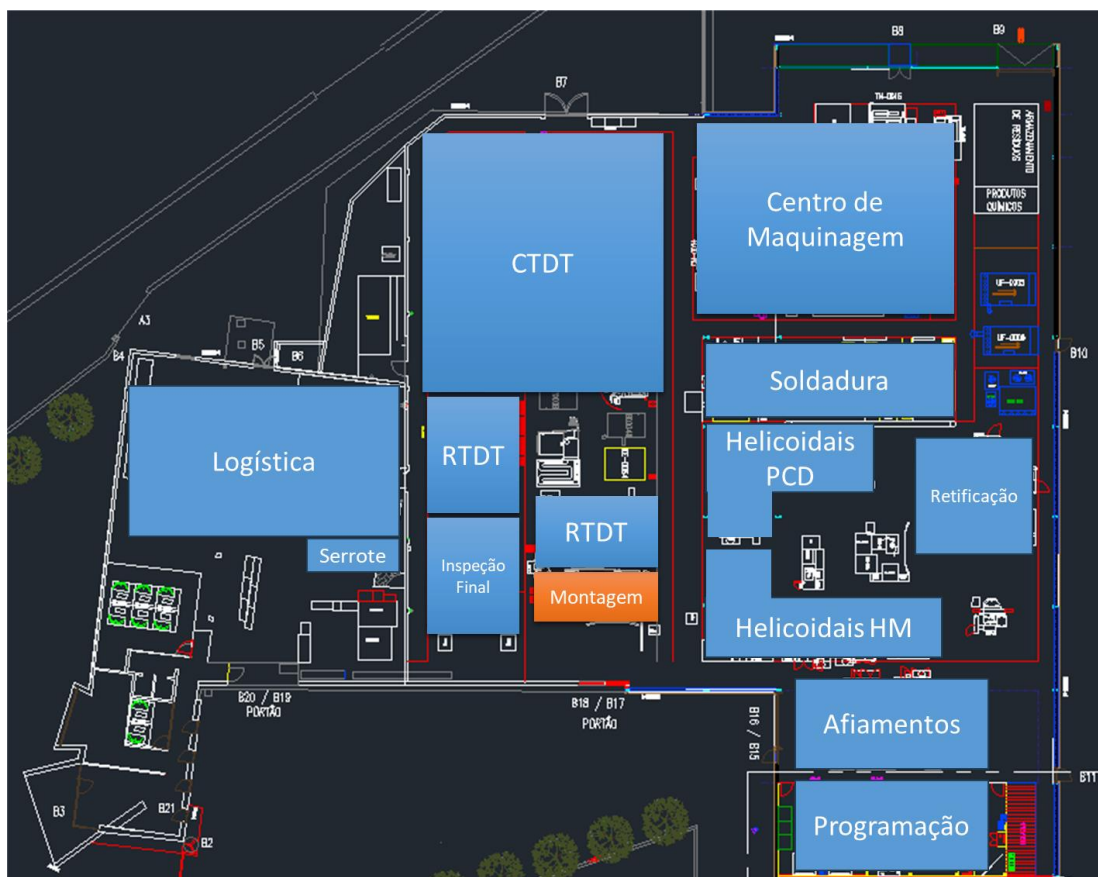


Figura 11 - Layout atual da FMT.



### 3.2.3.1 Programação

Na secção da Programação, a partir dos desenhos 2D são criados programa de CNC para posterior *upload* nas máquinas para maquinagem das peças (fresadoras, tornos e perfiladoras). Adicionalmente, é realizado o programa para o afiamento dos cortantes de PCD.

### 3.2.3.2 Serrote

Na secção “Serrote” o operador recebe uma caixa com a Ordem de Fabrico e com a matéria-prima associada a essa ordem. A tarefa essencial deste posto de trabalho consiste no corte de barras integrais de aço ou metal duro para obter barras com a dimensão requerida. Para tal o operador consulta as dimensões da peça final na OF, introduz a matéria-prima na máquina adequada e procede aos ajustes e afinações necessárias. O processo de corte em si é totalmente automático pelo que assim que este se inicia o operador executa a OF seguinte. De notar que o operador programa a máquina de forma que a peça, após o corte, apresente alguns milímetros em excesso relativamente ao seu comprimento final almejado.

### 3.2.3.3 Retificação

Após o corte das barras, caso estas sejam de metal duro, seguem para a secção “Retificação”. Aqui o seu comprimento e diâmetro é ajustado para a dimensão final, pode, ainda, ocorrer a maquinação da superfície da peça.

### 3.2.3.4 Helicoidais HM (*Hard Metal*)

Na secção “Helicoidais HM” são recebidas as barras de metal duro provenientes da secção de Retificação, sendo o objetivo deste centro de trabalho dotar a peça da sua estrutura helicoidal e do topo, havendo ainda, a realização de *steps*, frisos, guias. Após maquinação da peça, esta é inspecionada e é produzido um relatório sobre as várias cotas.

### 3.2.3.5 Helicoidais PCD (polycrystalline diamond)

A secção “Helicoidais PCD” é semelhante à anterior, tendo o mesmo objetivo. A diferença consiste na família da peça final a obter. Por esta secção passam as ferramentas onde serão posteriormente soldados os cortantes de PCD - E993.

### 3.2.3.6 Soldadura

A secção “Soldadura” está dividida em três cabines. Na primeira é recebido o PCD ou metal duro em bruto (sob forma de disco) e é definido um programa de corte para que a partir desse disco sejam obtidos

os cortantes que serão soldados aos corpos das ferramentas. Numa primeira fase, é estudada a melhor forma de obter o máximo de aproveitamento da matéria-prima (com auxílio de um programa informático) e posteriormente é elaborado o programa de corte para as máquinas. Este processo de corte pode ser realizado quer numa máquina de eletroerosão, quer a laser. Na segunda cabine a peça é limpa e é soldado o cortante ao corpo da peça. Posteriormente, a peça volta a ser limpa e decapada na cabine 2. Se o corpo da peça for de aço e se for necessário, a ferramenta segue para cabine 3 para sofrer um processo de oxidação.

#### 3.2.3.7 Centro de Maquinagem

No Centro de Maquinagem são maquinadas todas as peças que são compostas por aço. Esta secção está dividida em 3 unidades: tornos, fresadoras e uma área de preparação. Todas as ferramentas que dão entrada neste centro, primeiramente são torneadas e posteriormente fresadas. Na zona de preparação, são preparadas as ferramentas necessárias para uma Ordem de Fabrico, isto é, para maquinar determinada peça, são necessárias várias ferramentas, logo a função desta unidade é o de averiguar e alcançar as ferramentas requeridas, colocando-as num carrinho junto às máquinas.

#### 3.2.3.8 Centro Diamante (CTDT)

Após soldadura do cortante de PCD ao corpo (quando aplicável), é necessário proceder ao afiamento do cortante na secção “CTDT”. Numa primeira fase, a ferramenta é inspecionada e lavada. Posteriormente, tendo em conta a geometria da peça e/ou a disponibilidade das máquinas, a peça é encaminhada ou para as máquinas de afiamento por eletroerosão ou por laser. Após a retirada da peça destas máquinas, é realizada uma inspeção para verificar se a ferramenta está conforme.

#### 3.2.3.9 Retificação Diamante (RTDT)

O “RTDT” é o centro de trabalho responsável por realizar algumas tarefas de alta precisão. São realizadas, maioritariamente, operações em PCD, podendo ser realizadas algumas operações em outros materiais, nomeadamente, em metal duro.

#### 3.2.3.10 Montagem

A célula de Montagem é o último centro de todas as ferramentas que são produzidas na FMT antes de seguirem para a inspeção final. Neste centro são realizadas operação de limpeza, montagem, equilibragem, gravação, etiquetagem e embalamento. Visto ser esta área estudada na presente dissertação, esta secção é descrita em pormenor na secção 4.

### 3.2.3.11 Inspeção Final

A última secção antes da expedição de material para o cliente é a “Inspeção Final”. Apesar de serem realizadas várias inspeções ao longo do processo, é realizada, uma vez mais, um controlo sobre as ferramentas. Inicialmente, os operadores verificam se as *checklists* que acompanham a OF estão devidamente preenchidas. Depois, com a ajuda de equipamento de medição, verificam minuciosamente cada cota e/ou outras medidas da peça, dando especial importância às cotas que estão numeradas no desenho 2D. Para ferramentas compostas integralmente por metal duro, realiza-se um controlo estatístico, caso as ferramentas integrem PCD realiza-se uma inspeção a 100%. Posteriormente à medição, a ferramenta é colocada de volta na embalagem na qual é colada um selo de qualidade. Por fim, digitaliza-se a OF e são produzidos relatórios para arquivo interno, ou para o cliente se aplicável.

### 3.2.3.12 Áreas de Apoio

Existem ainda áreas de apoio direto ou indireto à produção tais como a Engenharia do Produto, *Design*, *Refurbishments*, Departamento Comercial, Departamento de Operações e Logística.

O Departamento Comercial é o responsável pelo contacto e venda direta ao cliente, sendo este o departamento que levanta os requisitos que o cliente necessita no que às características das ferramentas concerne. Adicionalmente, o Departamento de Engenharia tem a função de conceber o produto segundo os requisitos de cliente, para tal podem existir várias iterações com o cliente e é comum que este apenas envie a peça final que pretende obter (por exemplo, uma caixa de velocidades) sendo depois função deste departamento projetar todo um kit de ferramentas que permitam alcançar o produto final desejado a partir do matéria-prima em bruto.

No *Design*, são recebidos os desenhos 2D preliminares das peças a produzir provenientes do Departamento de Engenharia. Aqui estes esboços iniciais são analisados e complementados com informações adicionais tais como o tipo de material, velocidade de maquinagem, cotas, ângulos, entre outros. A partir deste desenho em 2D são produzidos desenhos em 3D (caso necessário). Este departamento é ainda responsável pela definição das rotas da ferramenta e pelo envio da Ordem de Fabrico (OF) para a produção em si.

O Departamento de *Refurbishments* é responsável por avaliar os serviços de reparação e de afiamentos. Denomina-se por “afiamento” qualquer peça de metal duro integral (E922) que volte à FMT para nova fresagem de modo a dotar a ferramenta de poder de corte. Para todas as restantes peças, ou seja, as que não são constituídas apenas por metal duro, realizam-se reparações. Neste campo pode ser necessário corrigir o corpo da ferramenta ou apenas substituir os cortantes, entre outros.

Sob a alçada do Departamento de Operações encontram-se o responsável pela Qualidade, o responsável pelo Planeamento da Produção, Responsável pela Cadeia de abastecimento e os responsáveis pela Melhoria Contínua, onde se insere o autor desta dissertação, e o Supervisor de Produção. Este departamento é responsável por gerir a produção da FMT, planejar investimentos realizar ações de melhoria contínua e ações específicas de melhoria de processos.

A Logística é o departamento responsável pela expedição de produto acabado quer pelo abastecimento à produção de matérias-primas e outros consumíveis. Esta abastecimento aos centros de produção é realizado duas vezes por dia e é possível a qualquer centro de trabalho requerer material através de um *software* interno.

## 4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DA SITUAÇÃO INICIAL

Neste capítulo é descrita a célula de produção alvo do projeto, sendo apresentados e explicados os processos que decorrem neste centro de trabalho, os equipamentos e máquinas presentes e o método e organização de trabalho da célula. Ainda é apresentado o *layout* detalhado da célula, evidenciando a disposição inicial das máquinas e equipamentos. Posteriormente, é realizada uma análise crítica ao funcionamento da célula, evidenciando falhas, problemas e desperdícios para que, conseqüentemente, seja possível elaborar propostas de melhoria com vista ao aumento geral do desempenho.

### 4.1 Descrição da área de estudo – célula de montagem

Nesta secção é apresentado o *layout* da célula de montagem que manuseia todas as ferramentas que são produzidas internamente na FMT, incluindo, naturalmente aos produtos explicitados na Tabela 3 da secção 3.2.2. Adicionalmente, o leitor é conduzido pelas várias etapas e processos que se desenrolam neste centro de trabalho. Também é explicado o modo de abastecimento de materiais e consumíveis à célula e descrito a organização da célula, quer no que respeita a horários, turnos, número de operadores, quer ao método de balanceamento do trabalho.

#### 4.1.1 Descrição geral e layout

A célula de montagem precedia a Inspeção Final, pelo que recebia todas as ferramentas novas e reparadas produzidas na fábrica. Na célula de montagem operavam três colaboradores num turno único de oito horas. Estes operadores tinham competências diferentes derivado dos anos de experiência a laborar nesta célula, sendo que um operador estava nesta função há mais de 10 anos (operador 1), outro há cerca de cinco anos (operador 2) e o outro (operador 3) ingressou na FMT no início do ano de 2023.

De facto, nunca estavam a laborar nesta célula mais do que dois operadores ao mesmo tempo, visto que o operador 1 realizava um turno de 8 horas completo, o operador 2 apenas operava durante as manhãs e o operador 3 substituíam o operador 2 assim que este saísse. Então, é possível afirmar que estavam alocados a este centro de trabalho o equivalente a duas pessoas a tempo integral.

Excepcionalmente, a célula de montagem podia funcionar ao sábado de manhã por um período de seis horas (das 6h às 12h). Esta situação apenas ocorria a pedido do supervisor de produção com o intuito de colmatar eventuais quebras de produção ocorridas durante a semana.

Relativamente à organização hierárquica do centro, ao contrário das restantes secções em que existia um operado denominado “capitão de equipa” que estava encarregue de representar e liderar a sua secção, na célula da Montagem essa função não existia, sendo que os operadores respondiam diretamente ao supervisor de produção.

A Figura 12 ilustra o *layout* existente da célula de montagem, que, como se pode observar, era uma célula em formato em “U” (cor amarela). Para apoio existiam fora da célula duas estantes de embalagens, obrigando a que houvesse um caminho entre a célula *per si* e estes locais de armazenamento (cor laranja). Este facto aumentava a área total da célula, perfazendo 41 m<sup>2</sup>.

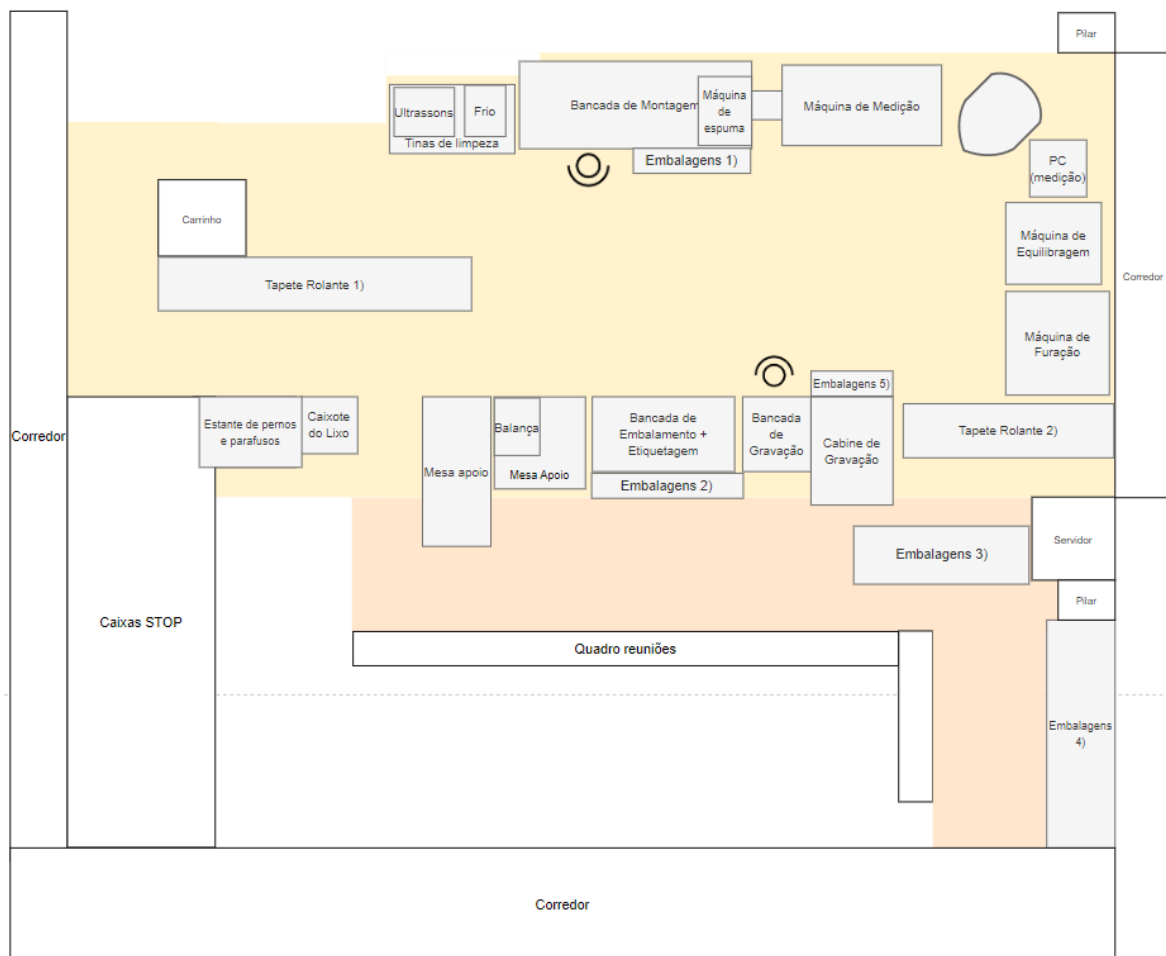


Figura 12 - Layout da célula de montagem.

Pela Figura 13 pode-se observar o estado inicial da célula da montagem, estando identificados não só equipamentos e máquinas, como também as bancadas de trabalho. Esta figura também tem o intuito de evidenciar a situação inicial da célula, no que concerne ao estado e disposição dos equipamentos.



Figura 13 - Célula de Montagem.

#### 4.1.2 Método e organização da célula


Não existia nenhum método padrão ou organização para a célula, no que concerne à distribuição do trabalho entre os vários operadores, sendo estes fatores geridos inteiramente pelos operadores da célula. Atendendo à diferença de competências e experiência nesta função, o operador mais experiente indicava o trabalho que o outro devia executar, ou seja, que ferramentas este devia tratar, ou se deviam ambos laborar no mesmo lote de ferramentas. Contudo, encontrava-se exposto na célula um ecrã com o planeamento da produção que indicava por que ordem de prioridade (mais alta para a mais baixa) os operadores deviam montar as ferramentas.

De notar que não se praticava *one-piece-flow*, ou seja, quando um operador começava a manusear, por exemplo, um lote de quatro ferramentas, este executava a mesma tarefa para todas as ferramentas do lote, e só depois de terminar de as executar é que avançava para a tarefa seguinte e assim sucessivamente.





#### 4.1.3 Máquinas e equipamentos

Este centro de trabalho dispunha de várias máquinas e equipamentos para executar as suas funções que estão representados na Tabela 6:

Tabela 6 - Máquinas e equipamentos existentes na célula de montagem.



Designação	Quantidade	Imagem
Bancada de montagem	1	
Bancada de etiquetagem e embalagem	1	
Mesa de apoio	2	
Tinas de lavagem de ferramentas	2	
Máquina de espuma	1	
Máquina de medição	1	








Designação	Quantidade	Imagem
Máquina de equilibragem	1	
Máquina de furação	1	
Bancada e máquina de gravação	1	
Impressoras de etiquetas	3	

Relativamente a espaços de arrumação de equipamentos e materiais consumíveis existiam sete locais - Tabela 7.

*Tabela 7 - Espaços de armazenamento e arrumação existentes na célula de montagem.*

Designação	Material armazenado	Imagem
Estante 1	Embalagens de cartão	
Estante 2	Embalagens de plástico e carapuças	

Designação	Material armazenado	Imagem
Estante 3	Embalagens de plástico e <i>tool holders</i>	
Estante 4	Embalagens de plástico	
Estante 5	Embalagens de plástico e <i>tool holders</i>	
Estante de pernos e parafusos	Pernos e parafusos	
Painel perfurado	Ferramentaria vária	

Assim, verifica-se que as embalagens estavam dispersas por cinco locais diferentes de arrumação. A Estante 1 encontrava-se por baixo da bancada de montagem e é onde eram armazenadas as embalagens de cartão. Já as embalagens de plástico de pequenas dimensões encontravam-se na Estante 2 e as de média dimensão na Estante 3 e 4 e as embalagens de plástico de maior dimensão encontravam-se na Estante 5. Os *tool holders* estavam armazenados nas Estantes 3 e 5. De notar que, dois dos locais se encontravam fora da célula de montagem (Estante 4 e 5).

Esta dispersão devia-se ao facto de terem sido adicionadas mais referências de embalagens à medida que foram sendo necessárias, não tendo sido possível realizar um planeamento atempado sobre como estas seriam armazenadas. Em adição, o facto de existir uma grande variedade de produtos a serem embalados, implicava que houvesse um número elevado de referências de embalagens que tinham de estar disponíveis, o que aumentava a quantidade de *stock* que tinha de estar à disposição.

Relativamente à estante de pernos e parafusos, os materiais encontravam-se organizados por ordem numérica, de acordo com a sua referência, havendo inclusive covetes vazias. De notar que esta estante podia ser acedida por dois lados, havendo 96 covetes de cada lado.

#### 4.1.4 Abastecimento de materiais

A célula de Montagem utiliza diversos materiais quer para auxílio às tarefas de montagem, quer componentes para montar nas ferramentas, como por exemplo, acetona e parafusos, respetivamente. Caso algum material esteja com um nível de *stock* baixo ou existir, de facto, quebra de *stock*, os operadores da célula efetuavam uma requisição de material à logística através de um *software*. Para tal, o operador devia aceder a um dos computadores disponíveis na secção, abrir o *software*, iniciar sessão na sua conta, digitar o código do material em causa e submeter o pedido. De notar que todos os pedidos de material tinham de ser aprovados pelo supervisor de produção.

Por sua vez, a logística entregava os materiais (cujos pedidos foram aprovados) a todas as áreas produtivas em dois momentos ao dia, uma primeira vez às 10h e outra às 15h. No caso de se tratar de pernos ou parafusos para a célula de montagem, estes eram colocados na estante de pernos e parafusos. Se se tratar de outros materiais, estes podiam ser entregues em mão aos operadores da célula ou simplesmente colocados na bancada de trabalho, por exemplo, se se tratar de álcool ou papel. Posteriormente, os materiais eram arrumados ou utilizados de imediato pelos operadores.

#### 4.1.5 Processos e tarefas

Nesta secção são descritas as tarefas executadas na célula de montagem, de notar que as tarefas podiam ou não ser realizadas e a sua complexidade dependia da família a que pertencia cada ferramenta. Inicialmente, as ferramentas de aço (nomeadamente da família E991 e E931) eram colocadas para lavagem numa tina com água a 80°C para limpeza com ultrassons (Figura 14), devendo permanecer aí cerca de cinco minutos antes de serem colocadas numa tina com água à temperatura ambiente.

O operador colocava a ferramenta nesta segunda tina para não só limpar a ferramenta dos produtos químicos da anterior, mas também para arrefecê-la para posterior manipulação. De seguida, limpava e secava a ferramenta com ar comprimido. Também era nesta fase que o operador verificava se os furos de lubrificação da peça se encontravam desobstruídos e realizava uma inspeção visual à ferramenta para verificar a integridade da mesma e, especialmente, dos cortantes.



Figura 14 - Tinas de lavagem a quente e a frio, da esquerda para a direita, respetivamente.

De seguida, eram montados na ferramenta todos os componentes necessários ao seu funcionamento, entre estes podiam-se incluir parafusos, pernos, anilhas entre outros. Para ferramentas cujos cortantes não eram soldados ao corpo, mas sim aparafusados (aperto mecânico), era nesta fase que estes eram acoplados à ferramenta. Este processo era executado na bancada de montagem ilustrada na Figura 15.

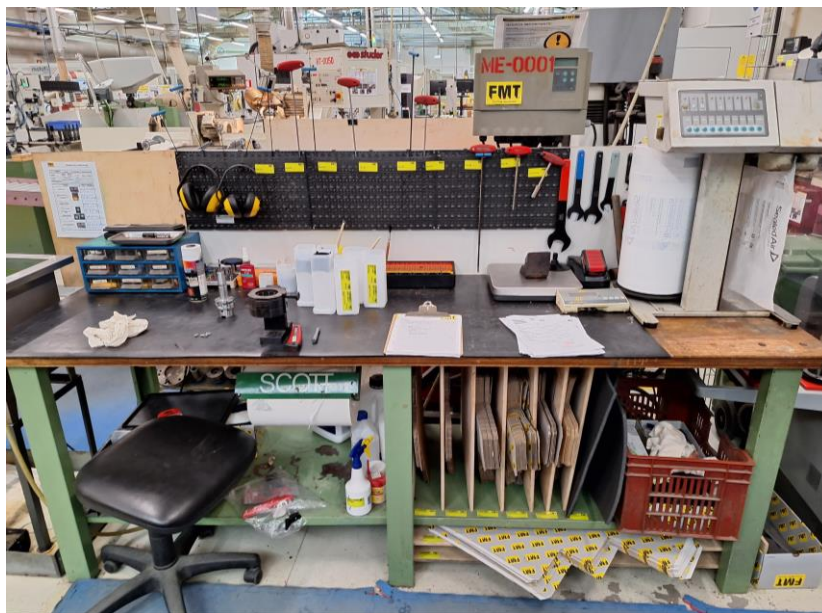


Figura 15 - Bancada de montagem.

Após montagem, as ferramentas de aperto mecânico com buris ou com broca central, tinham de ser medidas de forma a afinar e validar a quota final dos cortantes. Para tal, o operador, recorrendo a uma máquina de medição (Figura 16), ajustava manualmente a altura dos cortantes e, posteriormente, guardava o relatório de medição.



*Figura 16 - Máquina de medição.*

Após estas tarefas, ainda para as ferramentas de aço quer com cortantes soldados ou aparafusados, era necessário equilibrar as ferramentas, isto é, o operador verificava o centro de massa da ferramenta, e se esta estivesse demasiado deslocado do centro geométrico da ferramenta, corrigia-o. Este teste à ferramenta era realizado na máquina de equilibragem (Figura 17). Existiam duas opções de correção do centro de massa, ou se adicionava massa à ferramenta através pernos de equilibragem ou se retirava massa através da realização de furos de equilibragem. Para a realização deste último processo o operador devia retirar a ferramenta da máquina de equilibragem e colocá-la na furadora (Figura 17).



*Figura 17 - Máquina de Equilibragem e de Furação, respetivamente.*

Posteriormente, era necessário gravar a ferramenta de modo que esta fosse identificável e rastreável. Primeiro, o operador preparava o programa de gravação, ou seja, definia os parâmetros do feixe de laser e o texto e/ou imagem a gravar, inseria a ferramenta na cabine de gravação (Figura 18) e, por fim,



executava o programa de gravação. Os parâmetros do laser a utilizar dependiam da matéria-prima, do cliente e do esquema a gravar, se uma imagem ou texto.



Figura 18 - Cabine de Gravação e PC de apoio (bancada de gravação).

A tarefa seguinte consistia no embalamento da ferramenta, sendo que era função do operador alcançar a embalagem, que podia estar num dos locais de armazenagem supracitados, se necessário colocava espuma ou esponja de proteção e, por fim, inseria a ferramenta na embalagem. Além da embalagem *per si*, existiam alguns acessórios que também eram utilizados no embalamento, tais como a carapuça e o *tool holder*.

Estando a ferramenta devidamente embalada, o operador ajustava o programa de etiquetagem, imprimia e colocava a etiqueta na embalagem (Figura 19).



Figura 19 - Embalagem com etiqueta colocada.

Por fim, era necessário realizar a manutenção de caixa, ou seja, registrar no sistema de apoio à produção que a caixa já foi tratada e seguia para o centro seguinte.

A sequência de tarefas descrita era a executada para ferramentas de aço. Para ferramentas com o corpo de metal duro, nomeadamente E993 e E922, não eram montados quaisquer componentes, não era realizada qualquer medição, nem equilibragem nem furação e a lavagem nas tinas com água era

substituída por uma limpeza da ferramenta com papel e álcool. As tarefas de gravação, etiquetagem, embalagem mantinham-se. Ainda de referir que durante todo o processamento nesta célula, a ferramenta era manipulada e transportada manualmente.

Na Tabela 8 está representado um resumo dessas tarefas e a sua aplicabilidade dependendo da família do produto. No Apêndice 1 – Diagramas de Análise de Processo das famílias E922, E993 e E991 encontram-se os diagramas de análise de processo realizados pelo autor desta dissertação para cada família.

*Tabela 8 - Tarefas executadas na célula de montagem, por família de produtos.*

Tarefas	Família		
	E922	E993	E991
Retirar ferramenta da embalagem provisória	X	X	X
Lavagem da ferramenta na tina de lavagem	-	-	X
Limpeza da ferramenta com papel e álcool	X	X	SA
Secagem da ferramenta c/ ar comprimido	X	X	X
Verificação dos furos de lubrificação c/ ar comprimido	X	X	X
Montagem de componentes	-	-	X
Ajuste do torque de parafusos com chave dinamométrica	-	-	X
Ajuste e medição dos buris/lâminas ou pastilhas	-	-	-
Preparação do programa de equilibragem	-	-	X
Execução do programa de equilibragem da ferramenta	-	-	X
Remoção e/ou adição de material à ferramenta	-	-	SA
Limpeza da ferramenta c/ ar comprimido	-	-	SA
Preparação do programa de gravação	X	X	X
Gravação do logótipo, número de série e OF na ferramenta	X	X	X
Embarcar ferramenta	X	X	X
Preparar programa de etiquetagem	X	X	X
Etiquetar embalagem da ferramenta	X	X	X
Realizar manutenção de caixa	X	X	X

Relativamente a tarefas de manutenção autónoma e limpeza do centro, existia um guia para limpeza e mudança de água das tinas de lavagem de ferramentas apresentado no Anexo 1 – Rotina de limpeza das tinas de lavagem da célula de montagem.

O procedimento presente no guia mostrava que o operador devia desligar as tinas da corrente elétrica e com o uso de um aspirador de líquidos retirar toda a água do interior das mesmas. Estando a tina vazia, o operador limpava os resíduos sólidos que se acumulavam no fundo e nas paredes do recipiente. Posteriormente, era necessário colocar os produtos químicos quer na tina de água quente, quer na de água fria. Por fim, o operador voltava a encher as tinas e testava se o sistema de ultrassons estava a funcionar corretamente.

De notar que o nome, referência e quantidade do químico a colocar nem em cada tina, estava também, indicado na mesma folha.

## 4.2 Análise crítica e identificação de problemas

Ao longo desta secção é realizada uma análise crítica à situação existente para identificar os problemas e desperdícios inerentes. Inicialmente, foi realizado um estudo de tempos, permitindo a comparação entre o tempo de ciclo e o *Takt-Time* e o cálculo da capacidade da célula. Posteriormente, foram analisados os problemas identificados no *gemba*, com base em dados históricos, observação direta ou nos diagramas de *spaghetti*, tais como o elevado número de movimentações, de atualização de procedimentos operativos ou a falta de polivalência dos operadores. As realizações de diagramas de análise de processo permitiram, também, visualizar e documentar o estado inicial do processo, facilitando a identificação de desperdícios.

### 4.2.1 Estudo de tempos

Para determinar a verdadeira capacidade da célula e para que mais tarde fosse possível estudar o funcionamento e organização de trabalho da mesma, foi realizado um estudo de tempos para as famílias E922, E991 e E993.

Numa primeira fase, determinou-se como seria dividida a atividade da célula em tarefas e realizaram-se algumas medições para testes. Posteriormente, procurou-se normalizar a divisão de tarefas, isto é, a mesma tarefa, se realizada em mais do que uma família de produtos, teria sempre o mesmo nome e o mesmo momento de início e término, independentemente da família.

Adicionalmente, existiam atividades que eram realizadas por unidade de ferramenta (por exemplo, a gravação) e outras que eram executadas apenas uma vez por lote, independentemente do tamanho do mesmo, como a preparação do programa de gravação. As tarefas que eram executadas para várias famílias de produtos e cujo tempo era independente da família, dimensão ou outra qualquer característica da ferramenta, eram considerados transversais e eram executadas uma vez por cada lote.

Assim, o tempo de execução de uma ferramenta era a soma do tempo de todas as “tarefas de lote” específicas para determinada família de produto, com o tempo de todas as tarefas “transversais” a dividir pelo número médio de unidades por lote, somado, ainda, com o tempo de todas as tarefas “unitárias”.

Adicionalmente, foi necessário ter em conta que mesmo para ferramentas da mesma família de produtos, existiam algumas características especiais e que tinham impacto no tempo final de montagem da mesma. Assim, foi necessário identificar essas características, medir tempos e apurar a frequência de execução dessas tarefas.



A título de exemplo, para ferramentas da família E991, caso estas tivessem um cone que não fosse HSK-A63, o operador necessitava de modificar o aperto da máquina de equilibragem, visto que por norma esta estava adaptada para o tipo de cones mencionado. Por outras palavras, assumiu-se, neste caso, que o operador, por cada ferramenta E991 cujo cone não era do tipo HSK-A63, trocava o aperto da máquina duas vezes, a primeira para adaptar a máquina ao cone específico da ferramenta e a segunda vez para dotar a máquina da sua configuração inicial, ou seja, preparada para o cone HSK-A63. Assim, foi realizada uma média ponderada com a frequência deste tipo de tarefas e o tempo de execução da mesma. A Tabela 9 ilustra as famílias de produtos consideradas, bem como a frequência das tarefas especiais. A título de exemplo, 38.7% das ferramentas da família E991 possuíam um cone que não era HSK-A63.

Tabela 9 - Frequências das tarefas especiais por família de produtos.

Família	Sub-família	%Total
E922	-	100%
E993	-	100%
E991	Sem HSK-A63	38.7%

A equação (2) traduz a fórmula de cálculo do tempo médio de uma ferramenta por família.

$$Tfer_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Tunit_{ji} + \frac{\sum_{i=1}^n Tlote_i + Ttrans}{lotemédio_i} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^p Tresp_{ki} \times Freq_{ki} \quad (2)$$

Em que:

- $Tfer_i$  é o tempo médio de montagem de uma ferramenta da família  $i$ ;
- $Tunit_{ji}$  é o tempo de execução da tarefa  $j$  para uma ferramenta da família  $i$ ;
- $Tlote_i$  é o tempo de execução das tarefas realizadas uma vez por lote para a família  $i$ ;
- $Ttrans$  é o tempo de execução das tarefas realizadas uma vez por lote que são transversais a todas as famílias de produtos;
- $lotemédio_i$  representa o número de unidades médio por lote da família  $i$ ;
- $Tresp_{ki}$  é o tempo de execução da tarefa especial  $k$  da família  $i$ ;
- $Freq_{ki}$  é a frequência relativa da tarefa  $k$  na família  $i$ .

A Tabela 10 ilustra os resultados do estudo de tempo, evidenciando o tempo de operação por unidade para cada família de produto considerada.

Tabela 10 - Resultados do Estudo de Tempos.

Família	Sub-famílias	Produção			Tempo								Total	
		nr lotes	nr unid	%total	Tarefas/lote (s)	Tarefas/uni (s)	unid/lote	Tempo/ unidade (s)	Tarefas Trans/ lote	Tarefas Trans/uni	Tarefas especiais/uni (s)	Tarefas especiais./lote. (s)	Toperação (s)	Toperação (min)
E922	-	1495,0	10917	1	19,9	38,5	7,3	41,2	118,4	16,2	0,0	0	57,4	1,0
E993	-	1653,0	6009	1	66,7	53,0	3,6	71,3		32,6	0,0	0	103,9	1,7
E991	HSK-63	892,0	1947,0	0.61	58,3	480,8	2,2	507,5		54,2	0,0	0	566,0	9,4
	n\ HSK 63			0.39					0,0		23,8			

De forma a averiguar a robustez do estudo de tempos realizado, foi necessário calcular o nível de confiança do mesmo. Viste que algumas tarefas são transversais e por isso executadas para todas as famílias e outras não, o número de amostras retiradas para cada tarefas não é constante. Assim, calculou-se, através da equação (3) (Costa, 2019), o z-score que cada tarefa singular apresenta para uma margem de erro de 5%:

$$z_i = \frac{\sqrt{N_i} \times 0,05 \times \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

Em que:

- $z_i$  é o *z-score* para a tarefa  $i$ ;
- $N_i$  é o tamanho da amostra para a tarefa  $i$ ;
- $\bar{x}_i$  é a média amostral para a tarefa  $i$ ;
- $\sigma_i$  é o desvio-padrão para a tarefa  $i$ .

Calculado o *z-score*, é possível determinar o nível de confiança através da Tabela 53 (Anexo 2 – Função de distribuição Normal Padrão). Assim, obteve-se um nível de confiança médio final de 70%.

#### 4.2.2 Análise ao takt-time e produtividade da célula

Para o cálculo dos vários indicadores de capacidade e produtividade da célula de montagem, consideraram-se os dados relativos à produção de ferramentas desde 1 de janeiro até 31 de julho de 2023, contabilizando 31 semanas de trabalho e 147 dias úteis, já atendendo aos feriados, ou seja, no total foram trabalhadas 1176 horas.

Em primeiro lugar, averiguou-se se a célula de montagem era capaz de cumprir o *Takt-Time* (TT). Para o TT, tomou-se como referência o objetivo anual de vendas do ano de 2023 e dividiu-se pelo número de

dias úteis ao qual se descontaram 22 dias do período de férias, obtendo-se 228 dias de trabalho. Concretizando, de forma a cumprir este objetivo a célula de montagem deve ter uma produção de 46491€/dia. De seguida, para calcular o *Takt-Time* em segundos e para cada família de produto, foi necessário transformar o objetivo diário total de vendas, ou seja, para todas as famílias, para o objetivo de determinada família de produto em ferramentas por dia pela equação (4).

$$Objetivo\_diário_i = \frac{objetivo\_vendas\_total \times \%vendas_i}{\frac{vendas_i}{unidades\_produzidas_i}} \quad (4)$$

Em que:

- Objetivo\_diário<sub>i</sub> é o número de unidades de ferramentas da família *i* que devem ser produzidas por dia;
- Objetivo\_vendas\_total é o objetivo anual de vendas em euros;
- %vendas é a percentagem da família *i* no valor de vendas total;
- vendas é o valor absoluto de vendas de ferramentas da família *i* de janeiro a julho;
- unidades\_produzidas<sub>i</sub> é o número de unidades produzidas de ferramentas da família *i* de janeiro a julho.

De seguida, o *Takt-Time* foi calculado pela equação (5).

$$TT_i = \frac{Tempo\_disponível\_dia}{Objetivo\_diário_i} \quad (5)$$

Em que:

- TT<sub>i</sub> é o *Takt-Time* da família *i* em segundos;
- Tempo\_disponível\_dia é o número de horas trabalhadas por dia na célula de Montagem;
- Objetivo\_diário<sub>i</sub> é o número de unidades de ferramentas da família *i* que devem ser produzidas por dia.

Adicionalmente, para calcular o tempo de ciclo dividiu-se o número de ferramentas produzidas por cada família de janeiro a julho pelo tempo disponível durante esse período. A Tabela 11 ilustra quer os dados utilizados para as equações (4) e (5), quer os resultados do TT.

Tabela 11 - Dados de entrada e Resultados do cálculo do Takt-time para as famílias E922, E993 e E991.

Família	Produção (uni)	Vendas (€)	Valor médio (€/uni)	%Vendas totais	Objetivo /família (€/dia)	Objetivo produção (uni/dia)	TT (min)	TC (min)
E922	10917	858 572 €	79 €	13%	5752 €	73	6.6	6.5
E993	6009	2 069 915 €	345 €	30%	13867 €	40	11.9	11.7
E991	1947	1 567 468 €	805 €	23%	10501 €	13	36.8	36.2

Obtidos estes valores, importa, de facto, compará-los. O gráfico da Figura 20 ilustra os resultados.

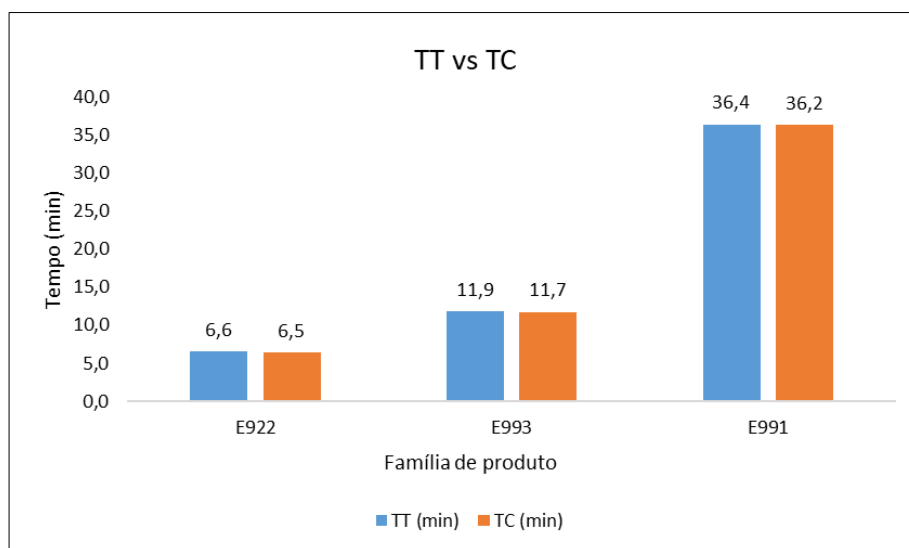


Figura 20 - Comparação entre o tempo de ciclo e o takt-time para cada família.

Pela análise do gráfico, verificou-se que para todas as famílias de produtos consideradas, o tempo de ciclo era inferior ao *Takt-time*, logo a procura do cliente era satisfeita. Contudo, verificava-se que esta diferença era muito ténue para qualquer família, o que significava diferenças de apenas segundos. Esta diferença marginal, indiciava que, caso existisse alguma anormalidade dentro da célula, como uma pequena avaria de um equipamento, podia ser colocado em causa o cumprimento da procura.

Em segundo lugar, calculou-se a produtividade mensal da célula de montagem em €/h-H (euro por hora-Homem), ilustrado na Figura 21. Este valor foi calculado dividindo a produção (em euros) da célula de montagem pelas horas-Homem trabalhadas nesse mês.

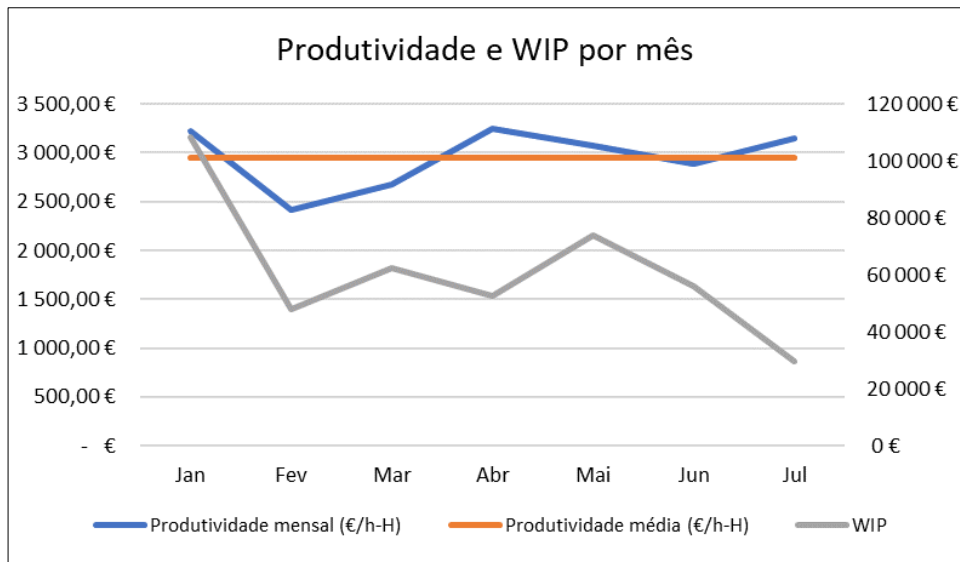


Figura 21 - Gráfico da produtividade mensal da célula de montagem.

Assim, verificou-se que a produtividade oscilava a cada mês sendo o valor máximo o de abril (3252.7 €/h-H) e o mínimo o do mês de fevereiro (2418 €/h-H). Em média a produtividade dos primeiros sete meses do ano de 2023 foi de 2954.1 €/h-H. Adicionalmente verificava-se que a produtividade da célula de montagem não era significativamente influenciada pela carga de trabalho no centro (WIP), tendo esse valor decrescido nos últimos três meses do horizonte de análise e a produtividade manteve-se perto da média. De notar que todos os dias às 6h da manhã é registada automaticamente a carga de trabalho (WIP) para cada posto, ou seja, no início do dia de trabalho. Deste modo, para a obtenção do valor de WIP para cada mês, realizou-se a média do WIP considerando cada dia desse mês.

#### 4.2.3 Elevado número de deslocações e transportes

De modo a ser possível mapear e posteriormente analisar e melhorar o fluxo de pessoas, foram realizados diagramas de *spaghetti* e calculadas as distâncias percorridas. Estes diagramas foram realizados para cada uma das principais famílias analisadas (E922, E991, E993) e foram executados em chão-de-fábrica pelo acompanhamento *in loco* das atividades do operador. De frisar que foi acompanhado um lote e não apenas uma ferramenta para cada diagrama, sendo que cada lote tinha duas ferramentas cada.





2) verificava-se a necessidade de o operador sair do seu posto de trabalho para alcançar embalagens, parafusos e parafusos. Para este exemplo, verificou-se que o operador realizou uma viagem de ida e volta quer às estantes de embalagens, quer à estante de parafusos.

3) destacava-se a existência de um ciclo repetitivo entre a equilibragem e furação o que obrigava o operador a transportar a ferramenta entre as duas máquinas e a ter de apertar a ferramenta no suporte de cada uma das máquinas repetidamente.

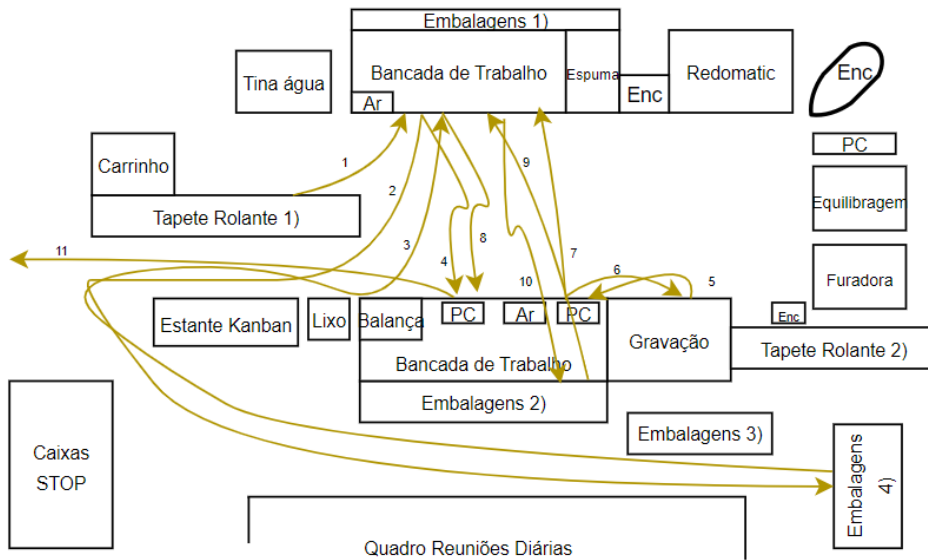


Figura 24 - Diagrama de Spaghetti para a família E993.

Seguidamente, têm-se o diagrama de *spaghetti* relativo à família de produtos E993 (metal duro + PCD) – Figura 24.

Como indicado na secção 4.1.5, as operações realizadas para estes produtos eram semelhantes ao da família E922, já descritos. Consequentemente, o fluxo de materiais era semelhante. Porém, destaque-se o facto de uma vez mais, o operador ser forçado a sair do posto de trabalho para alcançar embalagens fora da célula de montagem e a existência de movimentações sucessivas entre bancadas para o alcance e transporte de produtos. Esta movimentação era provocada, também, pelo facto de as ferramentas serem processadas por lote, ou seja, neste caso, aquando da gravação e etiquetagem, o operador gravava uma ferramenta, deslocava-se à outra bancada, alcançava a próxima e executava o programa de gravação e voltava a alcançar nova ferramenta e assim sucessivamente.

Em suma, de forma geral, estes diagramas permitiram identificar um desperdício muito recorrente – movimentações e/transporte, quer no alcance de ferramentas a processar, quer no alcance de materiais como embalagens ou parafusos e, ainda, no alcance de materiais auxiliares como papel.



Tendo por base os diagramas de *spaghetti* descritos, como referido anteriormente, foi possível calcular a distância percorrida em média para cada lote de ferramentas das famílias consideradas e estimar a distância diária total. Primeiramente, determinou-se o centro de massa de cada bancada e equipamento, sendo que a distância percorrida entre duas máquinas foi a distância euclidiana entre os centros de massa de cada equipamento.

A Tabela 39 do Apêndice 2 – Coordenadas e distâncias euclidianas entre os centros de massa de cada equipamento da célula da montagem, ilustra as coordenadas de cada equipamento bem como a distância entre todos. De notar que o “Ponto intermédio” foi um ponto artificial na medida em que não estava associado a nenhuma bancada ou equipamento. Contudo, este ponto serviu de ponto intermédio entre qualquer outro ponto e as estantes de embalagens 3) e 4). Assim, por exemplo, a distância da bancada de montagem à estante de embalagens 3 seria igual à distância da bancada até ao ponto intermédio e do ponto intermédio até à estante. Este ponto foi criado com vista a conferir uma maior veracidade e credibilidade ao modelo, visto que, caso este não existisse, a distância percorrida quando o operador se desloca fora da célula seria irrealisticamente mais curta em relação ao que, de facto, acontece. A Tabela 12 ilustra os resultados obtidos com base nos diagramas de *spaghetti* expostos.

*Tabela 12 - Distâncias percorridas por família de produto por dia.*

Família	Distância percorrida/lote (m)	Nr médio de lotes/dia	Distância/dia (m)
E922	25	10	260
E993	38	11	404
E991	66	6	394
Total	129	27	1068

De acordo com a tabela, verificou-se que por dia o operador percorria 1068 metros, i.e., mais de 1Km, apenas considerando estas três principais famílias. A família de produtos que forçava o operador a percorrer maior metragem por lote era a família E991, visto que, tendencialmente, estas ferramentas eram de maiores dimensões, o que implicava que o operador tinha de se deslocar às estantes de embalagens que estavam fora da célula (Embalagens 3 e 4) visto que eram nestes locais que estavam armazenadas as embalagens com maior volume. De notar, também, que esta família é aquela cuja sequência operatória é mais extensa, pelo que obriga à passagem por mais máquina para a execução de tarefas, aumentando, conseqüentemente, o percurso percorrido pelo operador.

#### 4.2.4 Elevado número de atividades que não acrescentavam valor

De forma a compreender e, essencialmente, quantificar as perdas de produtividade devido à execução de atividades que não acrescentavam valor ao produto, foi desenvolvido um digrama de sequência-

executante para cada família de produtos, exposto no Apêndice 3 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993. Neste diagrama foi introduzido cada tarefa singular, ou seja, tentou-se dividir as tarefas de modo que se pudesse quantificar em segundos, a perda ou ganho que determinada atividade acarretava. Para cada tarefa foi apontado o tempo despendido, e atribuiu-se uma categoria à mesma. As categorias consideradas foram: “Atividade de valor acrescentado”, “Atividade de valor não acrescentado, mas necessária”, “Transporte/Movimentação”, “Inspeção”, “Esperas”, “Armazenamento”. A Tabela 13 resume os dados obtidos para as principais famílias de produtos E922, E991 e E993.

*Tabela 13 - Tabela resumo dos diagramas de sequência-executante.*

Família		E922		E991		E993	
		Tempo (s)	%Tempo	Tempo (s)	%Tempo	Tempo (s)	%Tempo
Operação	VA	528	62%	156	30%	158	44%
	NVA	209	25%	164	31%	145	40%
Transporte/ Movimentação		42	5%	98	19%	32	9%
Inspeção		61.5	7%	27	5%	26	7%
Esperas		7	1%	82	16%	2	1%
Armazenamento		0	0%	0	0%	0	0%
Total tempo		847.5	100%	527	100%	363	100%
Unidades/lote (uni)		15		2		3	
VA/unidade (s)		35.2		78.0		52.7	

Atendendo aos dados apresentados, verificou-se que, para as famílias E922 e E993, as tarefas de valor acrescentado (VA) eram a parcela com maior expressão, sendo que para a família E922 atingiam os 60% do tempo total despendido na montagem destas ferramentas.

No geral, as atividades de valor acrescentado eram as mesmas para cada uma das famílias, contemplando atividades como a limpeza, gravação, embalagem e etiquetagem da ferramenta e ainda, só para o caso da família E991, a equilibragem que pode incluir a adição ou remoção de massa na ferramenta e a colocação de pernos, por exemplo.

Adicionalmente, verificou-se que o número de ferramentas por lote tinha impacto na percentagem do tempo despendido nas tarefas de valor acrescentado. Este facto era explicado porque o tempo de execução das tarefas de não valor acrescentado, mas necessárias como a “preparação do programa de gravação” ou “transporte da caixa até ao centro seguinte”, são independentes do número de ferramentas do lote, sendo o tempo de execução semelhante quer se se tratasse de uma ou vinte ferramentas. Por outro lado, as tarefas de valor acrescentado já citadas eram realizadas para cada ferramenta, sendo que quanto maior o número de ferramentas por lote maior era o tempo total dedicado a acrescentar valor e era diretamente proporcional ao número de ferramentas do lote em questão.

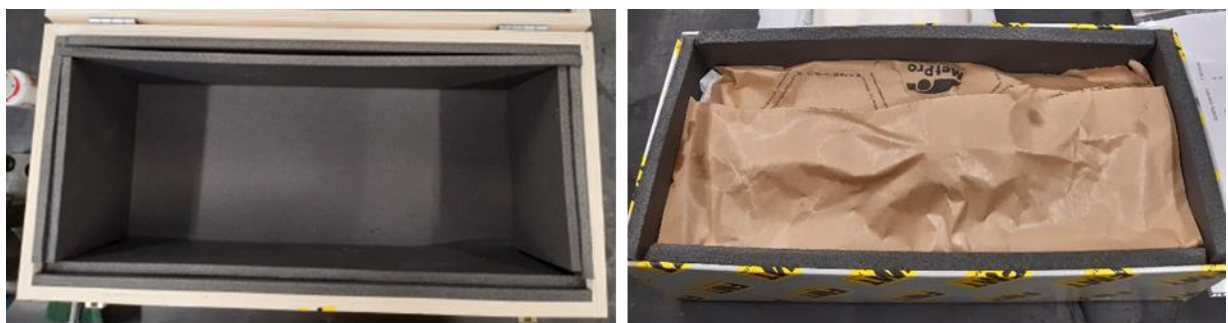
#### 4.2.5 Procedimento de embalagem inadequado e processo ineficiente

Uma das tarefas executadas para todos os produtos era o embalamento das ferramentas. Existiam três principais tipos de embalagens: plástico, cartão ou madeira e a escolha da embalagem dependia essencialmente da dimensão e da família do produto.

Com o objetivo de standardizar o processo de escolha de embalagens, já existia na FMT um procedimento operativo que estabelecia regras e princípios básicos a seguir pelos operadores que os ajudava a escolher uma embalagem apropriada. Contudo, este procedimento não indicava claramente que determinada referência de produto tinha de ser embalada com determinada referência de embalagem, ou seja, existia margem para o operador escolher a embalagem que ele próprio achava adequada para o produto em questão. Consequentemente, era possível e relativamente frequente, para operadores diferentes, e até para o mesmo, a escolha de embalagens diferentes para o mesmo produto.

Adicionalmente, era comum o operador seleccionar uma embalagem que achasse que era adequada, apenas para posteriormente verificar que não cumpria as regras definidas. Como tal, verificava-se uma perda de tempo útil, na escolha e troca de embalagens que era exacerbada quando o operador tinha de sair da célula para alcançar embalagens apenas para depois ter de o fazer novamente para as trocar (movimentação até “Embalagens 4)” e/ou “Embalagens 5)” - Tabela 7 da secção 4.1.3). Em adição a este desperdício, o facto de o mesmo produto aparecer com frequência em embalagens diferentes, era um fator que a FMT pretendia corrigir de modo a passar ao seu cliente uma imagem cuidada e assertiva.

Adicionalmente, segundo este procedimento, todas as embalagens de madeira tinham de ser revestidas por duas camadas de esponja preta, em todas as faces interiores e as embalagens de cartão, dependendo do tipo de ferramenta, podiam ser acompanhadas com uma camada de esponja como representado na Figura 25. Esta espuma chegava à montagem em parcelas de 2,4 metros de comprimento por 1,2 de largura e tinha de ser cortada com x-ato ou por uma faca de corte para a medida necessária para que pudesse ser incorporada na caixa de madeira.



*Figura 25 - Embalagem de madeira e de cartão revestidas com esponja preta, respetivamente.*

Sendo este processo inteiramente manual e sendo necessário duas camadas de esponja por face interior da caixa (base, topo e faces laterais), o tempo requerido para o cumprir era elevado, ascendendo quase aos seis minutos (tempo obtido através do estudo de tempos realizado na secção 4.2.1).

#### 4.2.6 Elevado número de não conformidades

De modo a ser possível obter uma visão dos problemas da célula de montagem, foram analisadas as não-conformidades imputadas à célula de montagem no período de 1 de setembro de 2022 a 9 de março de 2023. Para esta análise foram consideradas as ocorrências e não as ferramentas defeituosas, sendo que por cada ocorrência, pode haver uma ou mais ferramentas defeituosas.

De facto, importa analisar concretamente o tipo de não-conformidade registada para que fosse possível eliminar as mais preponderantes. Durante este período, foram registadas 55 não-conformidades, tendo-se elaborado um diagrama de Pareto com os vários tipos de não-conformidades, ordenadas da mais para a menos frequente (Figura 26). De notar que, que o posto de trabalho após a montagem era a inspeção final. Segundo a política da FMT, quando uma não-conformidade era detetada num centro, esta era imputada ao centro de trabalho anterior, se a causa não fosse possível rastrear e apurar com certeza onde, de facto, ocorreu a não-conformidade. Deste modo, existiam não-conformidades imputadas à montagem que podiam não ter ocorrido neste centro.

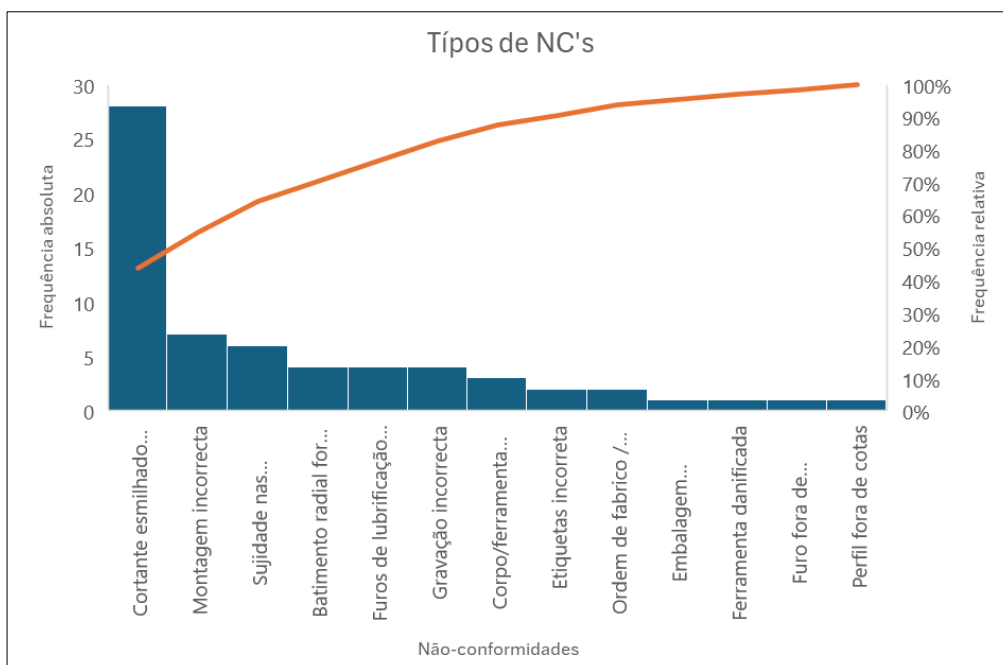


Figura 26 - Diagrama de Pareto das não-conformidade imputadas à Montagem.

A partir dos dados na tabela, tomando por base a regra de Pareto, verificou-se que as não-conformidades com maior impacto eram não-conformidades que a célula de montagem tinha a função de detetar,

corrigir ou evitar. Concretizando, para “Cortante esmilhado/ danificado” aquando da limpeza ou lavagem das ferramentas, os cortantes tinham sempre de ser inspecionados. Relativamente a “montagem incorreta”, como o nome indica, referia-se à montagem de acessórios, parafusos, pernos, entre outros e, visto que, a montagem era o único centro de trabalho a realizar este tipo de tarefas, esta não-conformidade era diretamente imputável a este centro.

Relativamente a “Furos de lubrificação obstruídos” era tarefa do operador verificar aquando da secagem (ferramentas de aço) ou aquando da limpeza (ferramentas de metal duro) se estes se encontravam obstruídos ou não, usando para tal uma pistola de ar comprimido. Por fim, no que respeitava a “Sujidade das ferramentas” como já mencionado várias vezes, uma das tarefas mais importantes nesta célula era a limpeza e desgorduramento das ferramentas pelo que uma não-conformidade deste tipo tinha de ser evitada por completo. Por fim, temos a “gravação incorreta” como uma das não-conformidades imputadas à montagem, sendo que esta categoria está diretamente relacionada com um processo que a montagem realiza para todas as ferramentas, pelo que também é importante considerar.

De modo a dissecar e melhor compreender as causas-raiz que levam ao aparecimento destas não-conformidades, foram realizados diagramas de *Ishikawa* para as cinco não-conformidades mais frequentes (Apêndice 4 – Diagramas de Ishikawa para as não-conformidades).

Relativamente aos custos de não-qualidade, foram calculados os custos de correção de determinado defeito. Esta correção pode implicar a substituição de cortantes, a montagem de componentes novos ou até mesmo a produção de uma ferramenta totalmente nova. Estes custos são determinados pelo departamento de qualidade e os resultados estão ilustradas na Tabela 14:

*Tabela 14 - Custos de não qualidade imputados à célula de montagem.*

<b>Não-conformidade</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Custo total</b>
Cortante esmilhado/danificado	28	1246,01
Montagem incorreta	7	436,64
Sujidade nas ferramentas	6	56,05
Furos de lubrificação obstruídos	4	48,2
Gravação incorreta	4	27,64

Além disso, foi relevante identificar a causa destas não-conformidades. Das 55 não-conformidades, sendo 56% eram relativas a “C3 - Manuseamento incorreto” e 30% relativas a “C4 - Método/procedimento não respeitado” como representado na Figura 27.

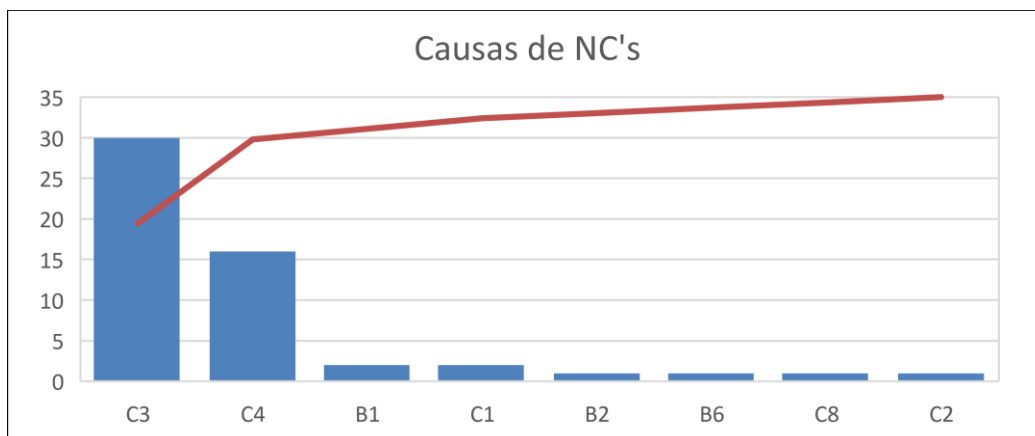


Figura 27 - Gráfico de Pareto por Causas de não-conformidade.

#### 4.2.7 Inexistência de política de abastecimento de materiais e consumíveis

Como descrito na secção 4.1.4, a célula de Montagem dispunha de vários armários e estantes de arrumação de materiais e de consumíveis. Contudo, não existia política de abastecimento definida quer para a reposição de embalagens, quer para a reposição de pernos e parafusos, sendo frequente as estantes estarem cheias e haver reposição e/ou haver quebra de *stock*. A título de exemplo, tal como verificado na Tabela 7 - local de armazenamento 4, existiam em *stock* mais de 500 unidades da embalagem com a referência EM61.30 (no canto superior esquerda da figura), quando, pela Tabela 43 (Apêndice 5 – Consumo médio diário de embalagens nos primeiros sete meses de 2023) sabe-se que o consumo médio diário durante os primeiros sete meses do ano de 2023 foi de 40 unidades por dia. Logo, existia neste espaço temporário, na célula de montagem, pelo menos 12 dias de *stock*.

Como consequência de uma política de abastecimento bem definida, os operadores da Montagem deslocam-se, em média seis vezes por dia à logística para alcançar materiais, embalagens, sejam estes parafusos, ou até materiais auxiliares, visto que nem todas as referências de consumíveis se encontravam em *stock* na célula devido ao seu baixo consumo.

Adicionalmente, o processo de requisição de materiais era moroso podendo demorar facilmente um a dois minutos apenas para requisitar um rolo de papel, na medida em que o operador tinha de procurar nas folhas de material o material que necessitava e introduzir a referência interna do mesmo no sistema. Ao próprio processo de procura pelo material pretendido na folha, acrescentava-se o facto de esta folha estar desorganizada, existindo anotações manuais e riscos. Na Figura 28 encontra-se um exemplo de uma folha de material.

**DVFT02467 EVENTO AMPLIAR LIXA DE LUMAS**

M0061.25	M0 11V9-100-3-10-20	DADA00018-100-3-10 M020K125059-H20- COTA 1-40
M0093.02	M0 6A2H PARA PCD	Material number 617337
MW002.01	M0 DW 70P84 20	125mm,40mm ART-41963
M0095.02	M0 REF#188-41-52843	
DNV508318	OCULOS PROTEÇÃO	PROGRESSIVO ORGANICO BRANCO
DNV502113	PAPEL (BOLD)	SCOTT TRAPICEL 2 F-RCLO C1640m)
DNV702024	PIEDRAS DE AMOLAR/POLIR MANUAL	US 78-100-001 100-25-13 A8500-VH277 se106RADEX V2)
DNVMT11784	PIIHA DE LITO-LS14250	REF#09145400-3 6W/1200MAH
DNV702120	PLASTICINA DHU TAC	ARTIGO 20103300
DNVMT156703	PROTECTING GLASS DG Y 022.35	POS89-360 00002 (04-1)
Z995-0254044	PROTECTOR AUDITIVO DICKES RE	PROTECTOR AUDITIVO DICKES REF.540444
DNV502022	PROTECTOR AURICULAR DA 3 M	REF#1271
V807	RCMT 0803MO- G52 11435	RCMT 0803MO- G52 11435
DVFT00002	RESINA EM BALDE 50 kg	RESINA
DVFT00002	TOALHITAS	TUFEN
DNV500005	VASSOURAS PEQUENAS PIASSAVA	VASSOURAS PEQUENAS
DVFT00002	VIDRO SEGURANÇA P/ LENTE DMG	F-THETA 82*3 (BK7)

**Handwritten notes on the sheet:**

- Top right:** CAMÉTHS - DVFC0736, LIXA DE A L X 010
- Right side:** DVFT02081, DVIM03835, DVFC00301, DVFC00301
- Bottom left:** FTO FMO, DVFT01605, VOLVMSK-21, STARCLEAN V660
- Bottom center:**
  - QPM 089.1 - óleo WD40
  - 2VEC00018 - FOLHA A4
  - ~~DVFT01174~~ - PIIHAS USER.
  - DVFT01120 - PATADEX
  - FC036 - óleo Vollmer 201L
  - FC017 - óleo am
  - LI013.01 - LIMA DIAMANTADA
  - MW002.01 - M0 QUM-TACSO
  - MW015.01 - M0 QUM-TACSO
- Bottom right:**
  - CAZCA (CAMÉTA FIBRA VIDRO - DVEC01777)
  - OPETA FIBRA VIDRO (CASPADOE) DVEC01776
  - MÓMD022.12
  - QPM 114 - líquido de limpeza FERRAMENTAS
  - GARRA-PONTO DA SERRA DVFT02554
  - PARAFUSO HSK 63 - DVFT00549
  - SACAS PUNHO 2P A5: EM29.03
  - A4: EM29.04
  - A6: EM29.01
  - WD40: QPM09.1
  - LUMAS-SHERNIK - DVFT02550
  - MÓMD01.12 M0 BUNCA (PAR ENAG) (AFIAR PR DETTNO)

Figura 28 - Exemplo de uma folha de material.

Relativamente ao abastecimento de parafusos e parafusos, tal como descrito no capítulo 4.1.4, o abastecimento de materiais à célula de montagem era realizado duas vezes por dia. Contudo, existiam dois casos que não seguiam esta regra: as embalagens e alguns parafusos. Relativamente às embalagens, quando os operadores da logística se deslocavam às áreas de produção para abastecer os restantes materiais, verificavam se era necessário abastecer a célula de montagem com embalagens.

De notar que não existia nenhum indicador preciso e oficial que indicasse a partir de que nível era necessário repor o *stock* de embalagens, ficando inteiramente ao critério do operador da logística se o fazia ou não. No que respeita às embalagens de madeira, devido ao seu tamanho, estas não se encontravam em *stock* na célula sendo necessária a sua requisição através de um *software*. Nestes casos o operador era obrigado a parar o lote de ferramentas em causa e a avançar para um próximo lote, gerando entropia no centro.

No caso dos parafusos especiais (referências 9395), parte destas referências não se encontravam em *stock* na estante de parafusos e parafusos, existindo dois motivos para tal. Em primeiro lugar, o consumo destes parafusos era relativamente reduzido, representando cerca de 10% quando comparado com todas

as restantes referências de pernos e parafusos – “PR” e “PF”, respetivamente) e o custo médio unitário era relativamente elevado, ascendendo aos 2.2€, enquanto os custos médios dos restantes parafusos eram de 1.77€/unidade, representando uma diferença de 25%. Na Tabela 44 (Apêndice 6 – Consumo de Pernos e Parafusos) encontram-se os consumos de todos os pernos e parafusos. Ou seja, quando os operadores da montagem necessitavam de um destes componentes para uma ferramenta, tinham obrigatoriamente de se deslocar à logística.

#### 4.2.8 Desatualização dos procedimentos operativos da Montagem

Guardados na célula de montagem em suporte físico e em suporte digital na rede interna, existiam vários procedimentos operativos que regulavam e informavam sobre como executar vários processos e operações realizadas nesta célula. Contudo, detetou-se logo no início do projeto que alguns procedimentos se encontravam desatualizados ou com lacunas. Eis alguns exemplos:

- Procedimento de Embalamento continha referências de embalagens que já não eram utilizadas e critérios de seleção de embalagens incorretos.
- Procedimento de Gravação de ferramentas estava escrito de acordo com *software* de gravação que já não se utilizava.
- Procedimento de Etiquetagem não fazia referência ao local onde devia ser colocada a etiquetagem.

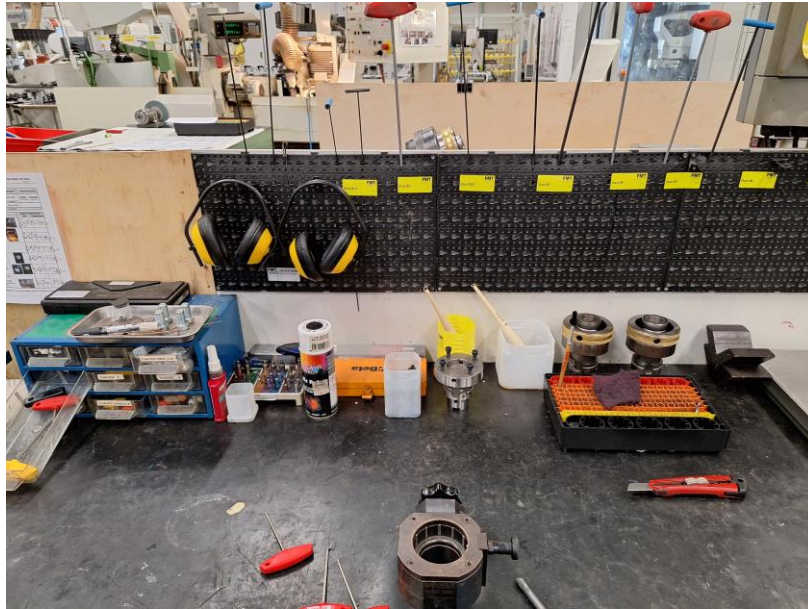
De notar que a standardização de processos devia ser acompanhada de uma documentação atualizada e eficaz, que permita uma consulta rápida por parte dos operadores em caso de dúvida e a formação de novos colaboradores que se juntem a esta célula. Por motivos de confidencialidade não foi possível apresentar nenhum exemplo.

#### 4.2.9 Desorganização do material e ferramentaria da célula

A célula de montagem dispunha de vários materiais e ferramentas para executar as suas funções, tal como chaves de aperto, alicates, chaves dinamométricas, colas, tinta, entre outros. Estes materiais estavam dispersos pela bancada de montagem (Figura 15 da secção 4.1.5), quer no tampo, quer no painel perfurado, quer na prateleira por baixo da bancada. De notar que estes locais estavam desorganizados, não havendo qualquer ordem ou lógica na disposição dos materiais, além de que maior parte não estavam devidamente etiquetados e não existia qualquer mecanismo (como quadros-sombra) que ajudassem a ter a noção do material existente e do que estava em falta. Além disso, também se



encontravam materiais repetidos, como por exemplo chaves de aperto exatamente iguais e a balança que estava nesta bancada, mas que raramente era utilizada, visto que existia uma outra balança na bancada de embalagem. A Figura 29 ilustra o estado em que a bancada se encontrava num dia normal de trabalho.



*Figura 29 - Evidência da desorganização do material da bancada de montagem.*

Na verdade, nem os próprios operadores tinham a real noção do material que dispunham e do seu estado e quantidade. Este facto era, também, exacerbado pelo modo como alguns materiais eram arrumados. Por exemplo, existia, na já referida prateleira por baixo da bancada uma mala de ferramentas que se encontrava totalmente desorganizada e um pequeno armário com ferramentas várias que, apesar de etiquetado, se encontrava desarrumado, sujo e com material repetido e não identificado (Figura 30).

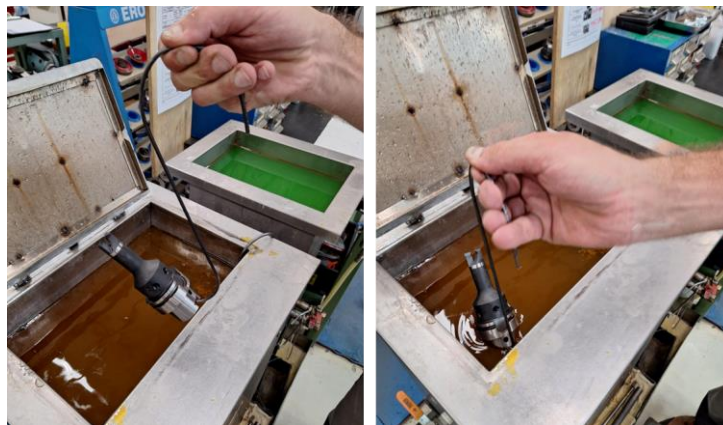


*Figura 30 - Mala e armário de ferramentas da montagem.*

#### 4.2.10 Falta de segurança e condições de ergonomia inadequadas

Um dos pontos fulcrais para uma boa produtividade é a existência de condições de trabalho adequadas que respeitem a segurança e saúde dos operadores.

Na célula de montagem verificavam-se alguns fatores que contribuíam para um desgaste a longo prazo da saúde dos operadores e podiam até provocar acidentes de trabalho com consequências imediatas. Em primeiro lugar, verificava-se que as tinas de limpeza não possuíam um suporte adequado para as ferramentas e que permitia assegurar a integridade física do operador. Este era muitas vezes obrigado a segurar a ferramenta por um “gancho” e a mergulhá-la na água de limpeza até que esta ficasse totalmente submersa, quase contactando na água com as suas mãos. Este facto era principalmente preocupante atendendo à temperatura da água (80°C) e ao facto de esta conter produtos químicos agressivos. A Figura 31 ilustra o descrito e evidencia o perigo que o operador corria.



*Figura 31 - Colocação de uma ferramenta na tina de limpeza.*

Na verdade, já ocorreu um acidente de trabalho durante o ano de 2023 que resultou numa queimadura grave e a conseqüente perda de 22 dias de trabalho.

Em segundo lugar, as bancadas de trabalho da célula encontravam-se a uma altura de 90 cm sendo, portanto, desadequadas ao trabalho em pé, atendendo à estatura dos operadores. Este fator era agravado pelo facto de as bancadas serem fixas, não permitindo o ajuste em altura que seria necessário. Esta versatilidade seria fulcral na medida em que as estaturas das três pessoas alocadas a esta célula são díspares: 196 cm, 170 cm e 178 cm para o operador 1, 2 e 3, respetivamente. Adicionalmente, por vezes, era necessário trabalhar sentado (em algumas tarefas muito minuciosas e relativamente longas) o que implicaria um ajuste da altura da bancada.

Em terceiro lugar, existiam ferramentas em que era necessário montar componentes com a ferramenta na horizontal. Como não existia nenhum suporte que fosse capaz de manter a ferramenta na horizontal,

o operador era forçado a colocá-la no seu colo para conseguir concluir a sua montagem. De notar o perigo de corte, visto que não era colocada nenhuma proteção entre o operador e a ferramenta. Por outro lado, existia, também, o risco de danificar a ferramenta, nomeadamente o de esmilhar os cortantes ou até de queda da ferramenta. A Figura 32 demonstra o descrito.



*Figura 32 - Manuseamento de uma ferramenta no colo.*

Por último, o banco que estava disponível na célula de montagem revelava-se desajustado na medida em que não possuía encosto lombar nem era possível regular a sua altura - Figura 33



*Figura 33 - Banca disponível na célula de montagem.*

#### 4.2.11 Falta de polivalência dos operadores

Visto que existiam três pessoas alocadas a esta célula, foi necessário aferir as competências de cada uma. Para tal, elaborou-se uma matriz de competências onde se colocaram tarefas singulares sob a alçada de tarefas gerais. A Figura 81 do Apêndice 7 – Matriz de competências da célula de montagem), ilustra os resultados obtidos. Pela análise da matriz, verificou-se claramente uma diferença entre o operador 1 e os restantes, visto que este é o único que desempenhava todas as tarefas de forma autónoma e hábil e tem capacidade de dar formação. Notou-se, também, uma diferença significativa entre o operador 2 e os restantes, em detrimento do facto de este ter começado a sua jornada na célula de montagem no início do ano de 2023, logo tem muito menos experiência do que os restantes.

Relativamente às tarefas que se revelaram mais desafiantes para os operadores, têm-se a “Medição/Afinação de buris” e “Emissão de relatórios de medição”, tarefas que estavam diretamente relacionadas com a máquina de medição e com o seu funcionamento. Logo, o manuseamento deste equipamento tornou-se um ponto crítico na distribuição de trabalho entre os operadores no caso do operador mais hábil não comparecer ao trabalho.

#### 4.2.12 Resumo dos problemas identificados

Após a conclusão das análises realizadas aos problemas da célula, foi elaborada uma tabela síntese de todos os problemas identificados, Tabela 15 que tem como objetivo condensar os vários problemas descritos, identificando as respetivas causas e consequências. Adicionalmente, são especificados os desperdícios resultantes de cada um desses problemas.

Tabela 15 - Resumo dos problemas identificados.

Problema	Causa	Consequência	Desperdício
Elevado número de deslocações e transportes	Múltiplos locais de armazenamento de embalagens; Falta de organização do método de trabalho da célula Falta de arrumação de material Inexistência de <i>One-piece-flow</i>	Perdas de tempo no alcance de embalagens	Transporte Movimentação
Elevado número de atividades que não acrescentam valor	Falta de análise aos processos e métodos	Aumento do tempo de operação	Desperdício de potencial humano
Procedimento de embalamento não adequado	Não revisão e atualização do procedimento. Inexistência de método assertivo e racional para a seleção de embalagens	Produtos mal embalados Perda de tempo na seleção da embalagem	Defeitos
Elevado número de não-conformidades	Inexistência de mecanismos anti-erro Falta de formação	Necessidade de retrabalhar ou sucatar produtos	Defeitos
Inexistência de política de abastecimento de materiais	Inexistência de políticas de encomenda bem definidas Via de comunicação entre montagem e logística ineficiente	Quebras de <i>stock</i> ou excesso de <i>stock</i> Produção parada à espera de material	Esperas Inventário
Desatualização dos procedimentos operativos	Controlo ineficaz sobre a documentação	Produtos com defeito Necessidade de parar produção para esclarecimento de dúvidas	Esperas Defeitos
Desorganização da bancada de montagem	Inexistência espaços de arrumação adequados Falta de cultura <i>Lean</i> Negligência	Tempo despendido na procura de material	Esperas
Falta de condições ergonómicas e de segurança	Falta de sensibilidade para o tópico	Riscos de acidentes de trabalho e de LMERT	Desperdício de potencial humano
Falta de polivalência dos operadores	Falta de formação e acompanhamento	Ferramentas complexas apenas podem ser montadas por um operador ou existe propensão a erros	Defeitos

## 5 APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA

Neste capítulo são apresentadas as diversas propostas de melhoria que foram sugeridas. Estas propostas foram projetadas para fazer face a pelo menos um dos problemas identificados no capítulo anterior, visando a mitigação ou eliminação de todos. De forma a estruturar o plano e a resumir o mesmo, foi elaborado um plano de ações no formato 5W2H (*What, Why, Where, When, Who, How, How much*) - Tabela 16.

Tabela 16 - Plano de ações 5W2H.

What	Why	Where	When	Who	How	How much
Reconfiguração da Célula de Montagem	Elevado número de deslocações e transportes	Célula de montagem + áreas adjacentes + armazém + bordo de linha	Nov/23	Eduardo Amorim	Eliminação das estantes de embalagens fora da célula; Novas bancadas de trabalho	15.670 €
	Elevado número de atividades que não acrescentam valor	Máquina de equilibragem e gravação	Nov/23 - fev/24	Eduardo Amorim	Digitalização e automatização de processos	160 €
					Gabaris para gravação de ferramentas	100 €
	Procedimento de embalamento não adequado	Célula de Montagem	Mai-jul/23	Eduardo Amorim, André Leite; Marcos Nascimento	Atualização de regras de embalamento; Criação de um algoritmo para seleção de embalagens Adição da referência de embalagem à BOM do produto	1200 €
	Elevado número de não-conformidades	Célula de Montagem	Nov/23 - fev/24	Eduardo Amorim; Marcos Nascimento	Melhor conforto luminoso para deteção de não-conformidades;	200 €
					Gabaris para gravação de ferramentas	100 €
	Inexistência de política de abastecimento de materiais	Célula de Montagem + armazém	nov/23 - mar/24	Eduardo Amorim	Sistema de abastecimento de materiais	240 €
	Desatualização dos procedimentos operativos	Célula de Montagem	Abr-nov/23	Eduardo Amorim	Revisão e atualização dos procedimentos operativos	160 €
	Falta de segurança e condições ergonómicas	Célula de Montagem	Set/23	Eduardo Amorim	Sistema semi-automático para lavagem de ferramentas; Suportes para manipulação de ferramentas; Banco de trabalho	2500 €
5S e Gestão Visual	Desorganização do material e ferramentaria	Bancada de Montagem	Nov-dez/23	Eduardo Amorim	Aplicação de 5S e gestão visual	80 €

What	Why	Where	When	Who	How	How much
Digitalização e melhoria de processos	Elevado número de atividades que não acrescentam valor	Célula de Montagem	Nov/23	Eduardo Amorim	Lista de tecnologias	10 €
			Nov-dez/23		Gabaris para gravação de ferramentas	100 €
			Jul/23		Folha de material	10 €
Ações de formação e acompanhamento	Falta de polivalência dos operadores	Célula de Montagem	Jan-fev/2024	Eduardo Amorim, André Leite	Ações de formação	145 €

Para a coluna “*How much?*” da Tabela 16 foram considerados os orçamentos requeridos a potenciais fornecedores e/ou o custeio associado à produção internamente de algum equipamento, por exemplo os “gabaris para gravação de ferramentas”. Existem algumas medidas que implicaram a apenas um custo associado à disponibilização de tempo, ou seja, mão-de-obra, por exemplo “Revisão e atualização de procedimentos operativos”. Para estas propostas foi estimado um tempo teórico e considerado um custo/hora de 10 €.

## 5.1 Reconfiguração da célula de montagem

Nesta secção apresenta-se a proposta de reconfiguração da célula de montagem usando a metodologia de Alves (2007) para o projeto/reconfiguração detalhada descrita na secção 2.2.2.

### 5.1.1 Identificação e formação de famílias de produtos

Durante os sete primeiros meses do ano de 2023 foram produzidas ferramentas de corte de 64 famílias diferentes. Contudo, a análise até agora considerou apenas três famílias (E922, E993 e E991) que perfazem cerca de 70% de todas as ferramentas produzidas durante o período considerado. Contudo, tornou-se vantajoso analisar outras famílias e verificar se seria possível agrupá-las e formar *clusters* de produtos de modo a obter uma representatividade maior do volume de produção.

Para tal, realizou-se uma análise ABC quer por número de unidades vendidas, quer por valor de vendas gerado (Apêndice 8 – Análise ABC por unidades e por valor de vendas). A Tabela 17 ilustra parte do resultado dessa análise, evidenciando apenas as famílias de produtos até à categoria B, quer por valor de vendas, quer por unidades vendidas.

*Tabela 17 - Resumo da análise ABC às unidades e às vendas de produtos produzidos.*

Família	Unidades produzidas (uni)	% Unidades total	Valor de vendas (€)	% Valor de vendas total
E993	6009	22%	2069915	30%
E991	1947	7%	1567468	23%
E922	10917	40%	858572	12%
E990	1016	4%	507237	7%

E946	238	1%	465162	7%
E992	369	1%	255471	4%

Família	Unidades produzidas (uni)	% Unidades total	Valor de vendas (€)	% Valor de vendas total
E994	158	1%	101062	1%
E931	138	1%	100001	1%
E976	1620	6%	99028	1%
E940	79	0%	90505	1%
9990	145	1%	76025	1%
E925	1001	4%	53304	1%

De modo a perceber até que ponto existiam similaridades no que respeitava ao tipo de operações realizadas para as ferramentas de cada família, construiu-se uma matriz onde se identificaram as atividades que se realizavam na célula de montagem e verificou-se a sua aplicabilidade para cada família de produtos. Adicionalmente, verificou-se com qual das famílias principais (E922, E993 e E991) as restantes se identificavam. Este passo foi efetuado, sendo o objetivo o de agrupar famílias tendo em conta as tarefas e as características das ferramentas tais como a forma e facilidade de manuseamento.

Tabela 18 - Tarefas executadas na célula de montagem, para as famílias de categoria A e B.

Tarefa	Família												
	E922	E993	E991	E990	E946	E992	E994	E931	E976	E940	9990	E925	E902
Retirar ferramenta da embalagem	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lavagem da ferramenta na tina de lavagem	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-
Limpeza da ferramenta com papel e álcool	X	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	X	SA	SA	X	X
Secagem da ferramenta c/ ar comprimido	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificação dos furos de lubrificação c/ ar comprimido	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Montagem de componentes	-	-	X	SA	X	X	X	X	-	X	X	-	-
Ajuste do torque de parafusos com chave dinamométrica	-	-	X	SA	X	X	X	X	-	X	X	-	-
Ajuste e medição dos buris/lâminas/pastilhas/broca central	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X	X	-	-
Preparação do programa de equilibragem	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-
Execução do programa de equilibragem da ferramenta	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	-
Remoção e/ou adição de material à peça e nova equilibragem (executar tarefa até ferramenta OK)	-	-	SA	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	SA	-	-
Limpeza da ferramenta c/ ar comprimido	-	-	SA	SA	SA	SA	SA	SA	-	SA	SA	-	-
Preparação do programa de gravação	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gravação do logótipo, número de série e OF na ferramenta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Embalar ferramenta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Preparar programa de etiquetagem	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Etiquetar embalagem da ferramenta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Realizar manutenção de caixa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Geometria similar c/	.	.	.	E993/E991	E991	E993/E991	.	.	.	.	E991	E922	.

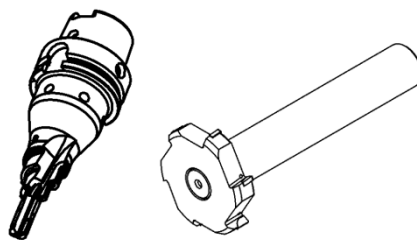


Pela análise da Tabela 18, verificou-se que existiam apenas quatro famílias de produtos que se assemelhavam às famílias iniciais, quer pelo tipo de tarefas realizadas, quer pelas características físicas da ferramenta: E990, E992, E925 e E946.

Em primeiro lugar, os produtos E990 não eram todos semelhantes a uma única família de produtos, podendo ter várias geometrias e especificidades. Esta particularidade advinha do facto de as ferramentas E990 serem ferramentas de aço que podem ter encabadouro ou podem ter aperto modular (Tabela 4 da secção 3.2.2), sendo, portanto, semelhantes às famílias E993 ou E991, respetivamente. Neste último caso, embora podendo ser semelhantes à família E991, o facto de terem aperto modular implicava que seriam executadas tarefas adicionais às que eram executadas para uma ferramenta E991 “normal”.

Em segundo lugar, tem-se a família E992 que englobava ferramentas que tanto eram conjuntos, ou seja, a ferramenta em si estava acoplada a um cone – semelhante a E991, como eram ferramentas de aço com encabadouro – semelhante a E993, sendo a principal diferença a matéria-prima do corpo, aço na E992 e metal duro na E993. Na Tabela 4 da secção 3.2.2 pode-se encontrar um exemplo de uma ferramenta acoplada a um cone.

Contudo, algumas ferramentas da família E992 exigiam que se executasse uma operação que não era necessária para as E991: “Ajuste e medição dos buris/lâminas/pastilhas/broca central”, que neste caso seria o ajuste de uma broca central. De facto, existiam muitos exemplos de ferramentas E992 que eram constituídas por uma ferramenta E991 com uma broca central. O tempo de operação desta tarefa extra bem como a sua frequência foi tido em conta aquando do cálculo do tempo de operação deste *cluster* de famílias. Na Figura 34 têm-se dois exemplos de uma ferramenta da família E992 semelhante a E991 e semelhante a E993, respetivamente.



*Figura 34 - Exemplo de uma ferramenta E992 semelhante a E991 e a E993, respetivamente.*

Relativamente às ferramentas da família E925, estas eram constituídas integralmente por carboneto de tungsténio, sendo ferramentas de encabadouro e não de cone. Estas características assemelhavam-se, portanto às da família E922. Adicionalmente, verificava-se que as ferramentas destas duas famílias

tinham dimensões e pesos semelhantes, diferindo apenas em questões muito técnicas no que concernia ao processo de maquinagem.

Por fim, têm-se as ferramentas da família E946 que se assemelhavam a ferramentas E991, sendo, portanto constituídas por um corpo de aço e por cortantes soldados de PCD. A diferença prendia-se com o facto de as E946 terem patins (Tabela 4 da secção 3.2.2 Tabela 4) e poderem ter um aperto modular ou cone. Esta última característica era a que podia implicar um dispêndio adicional de tempo na montagem caso fosse necessário montar aperto modular. A frequência e tempo destas tarefas foi tida em conta na formação de famílias e cálculo de tempos.

Apesar de não ter sido referenciada anteriormente, a família E931 tinha impacto significativo na formação de famílias. Estas ferramentas eram caracterizadas por serem de aço com cone e pelo facto de os cortantes não serem soldados, ou seja, eram aparafusados manualmente na célula de montagem. Devido ao número de cortantes e à minúcia que era necessária para os aparafusar, empiricamente era reconhecido que as ferramentas desta família tinham um tempo de operação superior a qualquer família citada até agora. Como tal, e não tendo sido recolhidos quaisquer registos de tempos de operação, esta família era incluída nos *clusters* com os quais se projetou a célula e foi realizado um estudo de tempos para esta família.

Após a formação destes *clusters* a representatividade das famílias seleccionadas aumentou significativamente, quer em número de unidades produzidas, quer em valor de vendas. De modo a simplificar a identificação das novas famílias, manteve-se o nome da família mãe que a originou. Por exemplo, para a família E922 + E925, será apenas referido E922.

#### 5.1.2 Instanciação de máquinas e equipamentos

De modo a investigar se as máquinas e equipamentos da célula são de facto utilizados de modo significativo, elaborou-se a Tabela 19 com as máquinas e equipamentos listados em 4.1.3 e verificou-se se eram utilizados durante o processo de montagem das ferramentas das várias famílias. Ainda se acrescentou à tabela a percentagem de unidades produzidas que cada família representava no volume de produção. De notar que foram consideradas todas as famílias de produtos referenciadas na secção 5.1.1.

Tabela 19 - Máquinas e Equipamentos utilizados na montagem de ferramentas de cada família.

Máquina/Equipamento	Família							
	E922	E993	E991	E925	E992	E990	E931	E946
Tinas de lavagem			X		X	X	X	X
Bancada de Montagem			X		X	SA	X	X
Máquina de Medição					X		X	
Máquina de Equilibragem			X		X	SA	X	X
Máquina de Furação			X		X	SA	X	X
Máquina de Gravação	X	X	X	X	X	X	X	X
Bancada de Gravação	X	X	X	X	X	X	X	X
Bancada de Etiquetagem/Embalamento	X	X	X	X	X	X	X	X
Máquina de Espuma			SA		SA	SA	X	SA
Balança	X	X	X	X	X	X	X	X
Mesa de Apoio								
% Unidades produzidas	40%	22%	7%	4%	1%	4%	0.5%	1%

Como se pode observar pela Tabela 19, os equipamentos que eram utilizados pelo menor número de famílias eram a máquina de medição, a mesa de apoio e a máquina de espuma. A máquina de medição era utilizada para a família E992 para controlo da altura máxima da ferramenta com *shrink* (Tabela 4 da secção 3.2.2) e para controlo da altura dos buris nas E931, sendo que estas famílias representavam apenas 1% e 0.5% do número de ferramentas produzidas, respetivamente.

Já a mesa de apoio era essencialmente utilizada para o corte de placas de espuma para o embalamento de ferramentas E991. Contudo esta mesa não era fulcral para o desempenho destas operações, sendo utilizada não porque era estritamente necessária, mas porque simplesmente se encontrava disponível. Consequentemente, não foi assinalada como “necessária” para qualquer família na tabela anterior. De notar que nem todas as ferramentas E991 precisavam desta espuma, sendo que o uso deste material dependia do tipo de embalagem utilizado (plástico, cartão ou madeira). Adicionalmente, esta mesa era utilizada para a colocação de outros materiais e ferramentas que, parte das vezes, nem estavam a ser utilizadas pela célula de montagem, mas por operadores de outras áreas.

Em suma, retirou-se a mesa de apoio, mas manteve-se a máquina de espuma e a máquina de medição apesar da sua utilização diminuta. Esta decisão deveu-se ao facto de ser totalmente dispensável a existência da mesa de apoio, desocupando, assim, cerca de 1,4 m<sup>2</sup> que podem ser úteis para outros equipamentos que sejam mais perentórios. Por fim, a máquina de medição manteve-se, visto que era obrigatório que o operador controlasse a cota das ferramentas E992 e E931 antes de estas chegarem à inspeção final, sendo que algumas vezes, era na célula de montagem que se executava o processo de *shrink* e este processo só era possível realizar com esta máquina. A execução ou não deste processo na célula de montagem ou numa secção anterior dependia do requisito do cliente.

Por sua vez, a máquina de espuma atuava como um dispensador de sacos com espuma que se expandia e se adaptava quer à embalagem onde era colocada quer à ferramenta. Apenas se utilizava esta espuma para as embalagens de cartão e de madeira e, na esmagadora maioria dos casos e salvo exceções muito raras, estes dois tipos de embalagens eram utilizados para ferramentas E991 e E946 que, tendencialmente, tinham dimensões superiores às restantes famílias referenciadas.

De notar que existiam ferramentas E992 e E991 cujas dimensões permitiam o embalamento em caixas de plástico, dispensando, assim, o uso da espuma, daí que na tabela surja “SA” como “Se aplicável”. Apesar de este equipamento ser utilizado por um número de famílias de produtos restrito, estas famílias equivaliam a cerca de 14% do número total de ferramentas. O mesmo raciocínio foi aplicado à máquina de furação, de equilibragem e às tinas de lavagem.

Numa outra vertente, decidiu-se acrescentar um novo equipamento à célula, nomeadamente uma tina para secagem de ferramentas. Como descrito no capítulo 4.1.5, uma das tarefas realizadas na montagem é a limpeza das ferramentas que passam por duas tinas de lavagem. Após a lavagem, a secagem era realizada com a ferramenta fora das tinas pelo que, com o uso de ar comprimido, eram projetados para o chão a água remanescente e quaisquer outros detritos. Esta tina tinha, evitaria que se projetasse sujidade para o chão ou qualquer outra superfície na medida que o operador devia proceder à secagem com a ferramenta dentro da tina. De notar que esta adição não teria qualquer custo, visto que se iria utilizar um equipamento de outra área de produção que estava obsoleto.

Adicionalmente, percebeu-se que existiam dois *clusters* de famílias de produtos que utilizavam diferentes equipamentos. Por um lado, as famílias E922, E993 e E925 utilizavam todas os mesmos equipamentos, sendo que as restantes famílias da Tabela 19 também tinham similaridades entre si no que ao uso de equipamento concerne. Este facto poderia levar à separação da atual célula de montagem em duas células distintas que ficassem encarregues de um destes dois conjuntos de famílias. A decisão de não optar por este caminho foi estratégica na medida em que não seria possível, no momento da escrita desta dissertação, criar uma célula numa outra localização da fábrica. Logo, esta hipótese não foi aprofundada.

#### 5.1.2.1 Aquisição de novas bancadas de trabalho

Aliado à reconfiguração *per si* do layout da célula, devido ao estado de degradação das bancadas de trabalho existentes e à necessidade de dotar as bancadas de melhores espaços de arrumação e de um melhor conforto luminoso e ergonómico ao espaço de trabalho, foi realizada uma pesquisa de mercado para identificar novas bancadas de trabalho mais adequadas. Além disso, como constatado adiante no

capítulo 5.1.4, foi necessário redesenhar os espaços de arrumação quer das embalagens, quer dos parafusos e parafusos, visto que o objetivo foi o de centralizar as estantes de embalagens, sendo que este facto não seria possível com os espaços de arrumação que a célula dispunha.

#### 5.1.2.2 Requisitos das bancadas

Em primeiro lugar, relativamente à bancada de montagem, esta terá de ter uma configuração diferente da inicial. O objetivo é que incorpore a estante de parafusos de forma que o operador não tenha de sair do seu posto de trabalho para alcançar estes materiais.

Para tal, foi necessário reduzir o número de referências expostas, visto que a estante atual alberga 92 referências diferentes e uma passagem integral das referências das estantes para os suportes da bancada não é possível. Além disso, como verificado no Apêndice 5 – Consumo médio diário de embalagens nos primeiros sete meses de 2023, existem várias referências cujo consumo é inferior à unidade por mês. A disposição e seleção das referências a colocar na estante é abordada em detalhe no capítulo 5.1.5.1. Adicionalmente, parte da bancada deverá ter um painel perfurado para colocar as várias ferramentas necessárias à montagem dos produtos. Tendo em conta que a FMT não produz produtos *standard*, existe um vasto leque de ferramentas que têm de estar expostas, mesmo que a sua utilização seja relativamente esporádica. Por fim, é, ainda, necessário que exista uma ou duas prateleiras para que possa ser possível colocar materiais auxiliares como lata de tinta, uma pequena aparafusadora, latas de óleo, entre outros. A seleção e organização destes materiais é analisada em pormenor no capítulo 5.2. Assim, procurou-se no mercado algo semelhante ao apresentado na Figura 35.

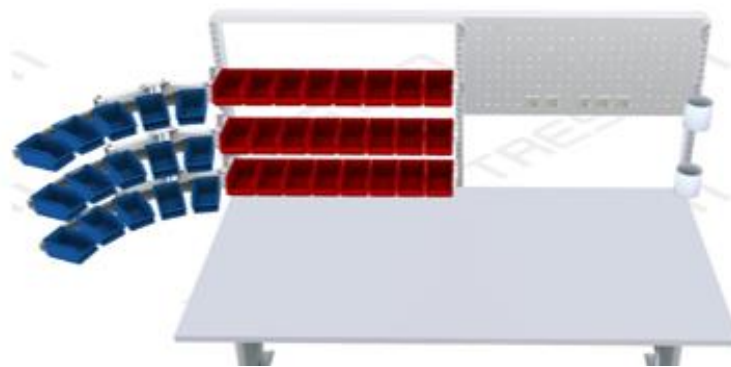


Figura 35 – Conceito genérico a adotar para a bancada de montagem.

Em segundo lugar, a bancada de gravação deverá ter espaço para a incorporação de um monitor para computador, bem como um local para a colocação das ferramentas em WIP que aguardam ser gravadas. Este local deverá conter uns suportes específicos para a colocação de ferramentas para que se evite

choques entre as mesmas e potenciais danos, nomeadamente, cortantes esmilhados, sendo esta uma das não-conformidades mais frequentemente imputada à montagem.

Esta bancada é a que menos exigirá em termos de requisitos, visto que as operações aqui executadas são as mais triviais, nomeadamente a preparação do programa de gravação e a limpeza das ferramentas.

Em terceiro lugar, a bancada de embalagem deverá reunir o maior número de referências de embalagens possível, estando estas numa posição ergonómica, acessível, e bem identificada. Visto que um dos objetivos é que a reposição das embalagens seja realizada por fora da célula, isto é, sem que seja necessário o operador da logística entrar dentro da célula para abastecer os materiais, sujeito a interromper ou incomodar a produção, a bancada de embalagem devia ter um sistema/estante que permita este conceito. Adicionalmente, este será também o local onde se realizará a impressão e preparação de etiquetas, sendo necessário ter os materiais necessários, tais como, monitor, impressoras e teclado.

De notar que todas as bancadas têm de ter um sistema de iluminação robusto, sendo que se apontou para os 1500 lux, visto ser o indicada para trabalhos de precisão.

Aquando da conceção das novas bancadas de trabalho para a célula, foi tido em conta o tipo de tampo e superfície dos mesmos. O requisito essencial foi a durabilidade e a suavidade dos mesmos. Apesar das ferramentas serem compostas por materiais duros e resistentes, por vezes apareciam mossas e riscos no corpo da ferramenta e é relativamente comum os cortantes de PCD aparecerem com fissuras e ou esmilhados, como verificado no capítulo 4.2.6, onde “cortante esmilhado/danificado” e “corpo/ferramenta danificada” equivalem a 47% e 6% de todas as não-conformidades detetadas, respetivamente.

Como contramedida, as superfícies de trabalho de todas as bancadas foram revestidas com borracha, especificamente neopreno, um material suave e que permite algum amortecimento quando se colocam ferramentas nas bancadas.

Até então, as medidas propostas para a redução do número de não-conformidades visavam a prevenção da ocorrência da não-conformidades. Contudo, importa, também, investir em meios que propiciem a deteção das irregularidades que chegam ao centro de trabalho.

A não-conformidades são detetadas ou por meio visual ou pelo tato. Atendendo ao facto de que as ferramentas podem ter dimensões muito pequenas (por exemplo um raio de quatro milímetros e um comprimento de sete centímetros), os cortantes da ferramenta têm dimensões ainda menores, pelo que

a deteção de fissuras nos cortantes é uma tarefa difícil de realizar a olho nu. Deste modo, foram adquiridas duas lupas com luzes LED para facilitar a deteção destas não-conformidades. Uma lupa foi colocada na bancada de montagem e outra na bancada de gravação. A colocação destes utensílios nestes locais deveu-se ao facto que serem os locais onde os operadores inspecionam as ferramentas após lavagem nas tinas (no caso de ferramentas de aço), e após a limpeza com papel e álcool (no caso de ferramentas com o corpo de metal duro e/ou encabadouro).

Um outro requisito foi dimensão das bancadas, nomeadamente a altura do tampo, ou seja, a altura da superfície de trabalho. Numa primeira fase, fez-se um levantamento sobre as situações em que o operador devia trabalhar em pé e sentado, tendo-se chegado à conclusão que, salvo algumas exceções na montagem de componentes de dimensão muito reduzida, os operadores devem laborar sempre em pé. Assim, as bancadas de gravação e embalamento podem ser fixas e a de montagem deve ser de altura ajustável.

Relativamente às superfícies de trabalho das bancadas, estas devem estar à altura do cotovelo (Sousa, 2021). Segundo o Anexo 3 – Carta Antropométrica, 95% da população portuguesa adulta masculina tem uma altura do cotovelo ao solo de pelo menos 96,6 cm. Se consideramos correções como o calçado e o tapete ortopédico, chegamos aos 100 cm, sensivelmente. Apenas foi considerada a população masculina visto que, não só os operadores que laboram atualmente na célula são masculinos, como também cerca de 90% dos operadores da FMT são homens.

Relativamente à bancada de montagem, sendo esta ajustada eletricamente, não é necessário definir uma altura fixa, tendo-se, em adição, dimensionado um banco de trabalho para quando são exigidas operações de montagem minuciosas e longas, o operador poder executar a tarefa sentado.

#### 5.1.2.3 Avaliação de alternativas

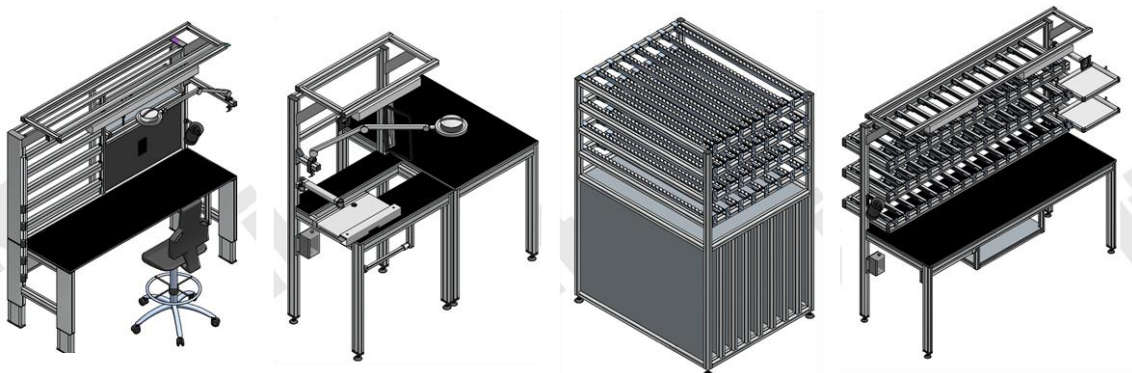
Para a aquisição das bancadas foram contactados três fornecedores distintos (fornecedor A, B e C) e apresentados os projetos e as suas restrições. A partir daí iniciou-se um longo processo de ajustes, novas ideias e algumas alterações ao projeto inicial. Neste capítulo serão apresentados os projetos submetidos por cada fornecedor, bem como tecida uma análise comparativa entre todas as propostas que contemplará critérios como o preço, apoio ao cliente, versatilidade e qualidade do projeto. A pontuação atribuída nestes critérios foi qualitativa e não quantitativa.



*Figura 36 - Projeto proposto por Fornecedor A (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).*

Relativamente à bancada de montagem do fornecedor A (Figura 36), esta releva-se bastante versátil visto que possuía um painel perfurado em toda a sua extensão, permitindo que fosse possível rearranjar inteiramente a disposição e o tipo de acessórios que podiam ser colocados.

Contudo, os problemas surgem na bancada e estante de embalagem. Em relação a este último projeto, foram falhadas completamente as dimensões propostas, não sendo possível cumprir os requisitos para o qual foi programada. Já a bancada em si cumpriu com os requisitos, mas falhou em pormenores como por exemplo a possibilidade de inclinação das prateleiras para embalagens e a possibilidade de colocação de roletes nas mesmas para facilitar o abastecimento das embalagens.



*Figura 37 - Projeto proposto por Fornecedor B (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).*

Relativamente à proposta do fornecedor B (Figura 37), uma das características que distingue a bancada de gravação das restantes é o “friso” central que permite acoplar uns encaixes que por sua vez permitem que sejam colocadas ferramentas em WIP que aguardam gravação. De notar que este foi um requisito pedido a todos os fornecedores, mas apenas este apresentou a solução mais adequada e funcional.

Quanto à estante de embalagem, as dimensões foram cumpridas e existe a possibilidade de inclinar e colocar roletes nas prateleiras quer da estante, quer da bancada.



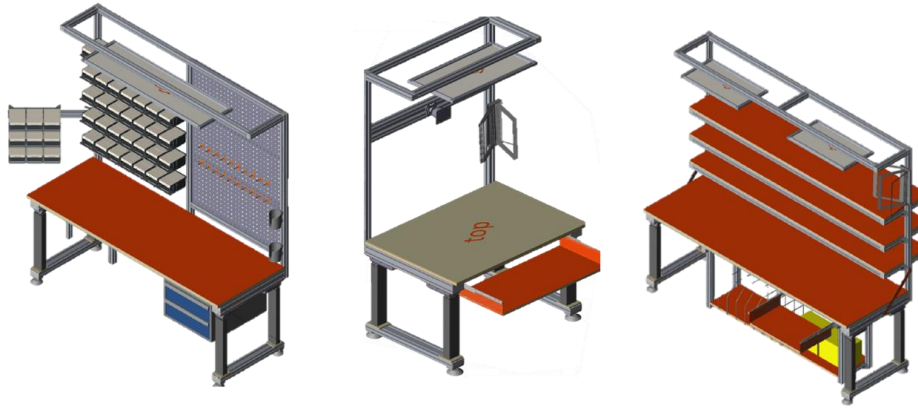


Figura 38 - Projeto proposto por Fornecedor C (bancada de montagem, gravação e embalagem, respetivamente).

De modo geral, a proposta do fornecedor C (Figura 38) cumpriu com os objetivos definidos, falhando na questão da apresentação de uma solução para colocação das ferramentas em *WIP* na bancada de gravação e pelo facto de não ter chegado a apresentar solução para a estante de embalagem até à tomada da decisão final. Aliás, a não submissão de uma proposta para esta estante deveu-se à letargia patente na interação entre cliente, serviço ao cliente e projetista, o que nunca permitiu uma resposta célere às alterações necessárias que foram propostas ao longo do projeto.

De modo a sumarizar o descrito e a criar uma ferramenta de apoio à decisão, criou-se a Tabela 20 que ilustra a pontuação de cada fornecedor para os critérios já citados.

Tabela 20 - Comparação entre Fornecedor A, B e C.

Fornecedor	Cumprimento de requisitos	Versatilidade	Qualidade	Apoio ao cliente	Preço	Total
A	++	+++	+	++	+	9
B	+++	++	+++	+++	+++	14
C	+	+	++	+	++	7

Assim, verifica-se que o fornecedor B é aquele que reúne a maior pontuação entre todos, pelo que foi esse o projeto escolhido para ser implementado.

#### 5.1.2.4 Sistema semi-automático para lavagem das ferramentas

Como reportado na secção 4.2.10, os operadores estão sob o risco de queimaduras quando introduzem as ferramentas nas tinas de limpeza. Para eliminar este risco e prevenir novos acidentes de trabalho, foi projetado um sistema de roldanas que fazia descer um cesto ou um suporte, dependendo se a ferramenta se tratava de uma ferramenta de encabadouro ou de cone, respetivamente. Um protótipo deste sistema encontra-se na Figura 39. Nesta figura não se encontram representados os cestos/suportes para as ferramentas, mas apenas os eixos de movimentação.



*Figura 39 - Protótipo para sistema de movimentação das ferramentas nos tanques de limpeza.*

Com este sistema o operador introduzia as ferramentas no cesto/suporte e após premir um botão, o cesto desce até à tina de lavagem até ficar totalmente submerso. Após cinco minutos, o cesto volta a subir e move-se para a segunda tina de lavagem (com água à temperatura ambiente). Após dois minutos, o cesto sobe e é emitido um sinal sonoro para avisar o operador que o processo de lavagem está concluído e que este já pode continuar o processo de montagem da ferramenta.

De notar que o sistema foi concebido de modo que o operador coloque a ferramenta no cesto e que o processo se desenrole automaticamente, dispensando a presença do operador durante o processo. Este apenas tem de voltar quando é avisado pelo sinal sonoro, estando livre para fazer outras tarefas enquanto decorre a lavagem.

A adoção do sistema semi-automático para a lavagem de ferramentas, além de eliminar o risco de acidente de trabalho por queimadura, consiste em si mesmo num mecanismo anti-erro. Por outras palavras, foi possível programar o sistema de modo que os tempos de submersão das ferramentas em ambos o tanque de lavagem cumprisse exatamente o estipulado nos procedimentos operativos. Deste modo, é não só possível evitar que as ferramentas passem um tempo inferior ao necessário nos tanques, correndo o risco de não serem eliminados todos os resíduos, como também se evita que as ferramentas estejam sob lavagem demasiado tempo do que o necessário, correndo o risco de o operador estar à espera da ferramenta e aumentando, inadvertidamente, o próprio tempo de operação da ferramenta.

Por um lado, esta medida ataca diretamente uma das não-conformidades mais proeminentes: “sujidade nas ferramentas” que representava cerca de 7% do total de não-conformidades. Por outro lado, foi também possível reduzir uma outra não-conformidade: “furos de lubrificação obstruídos” cuja representatividade era semelhante à anterior. Neste caso, o impacto poderia não ser tão significativo, visto que mesmo que sejam cumpridos os tempos estipulados de submersão em cada tina, pode não ser o suficiente para desobstruir os furos de lubrificação.

### 5.1.3 Instanciação de postos de trabalho

Definidos os recursos materiais e as famílias a tratar nesta célula, definiram-se os recursos humanos necessários de modo que a célula cumprisse os objetivos propostos. Assim, calculou-se o conteúdo de trabalho total que representava o trabalho a realizar, em horas, para se cumprir o *Takt-Time*, sendo este obtido pela soma do produto entre o tempo de operação e o objetivo de produção por dia para todas as famílias contempladas - equação (6).

$$\text{Conteúdo de trabalho total} = \sum_{i=1}^n \text{Conteúdo de trabalho}_i = \text{Toperação}_i \times \text{Objetivo diário}_i \quad (6)$$

Em que:

- *Conteúdo de trabalho total* é o conteúdo de trabalho, em horas, total da célula de montagem para um dia de trabalho;
- *Conteúdo de trabalho<sub>i</sub>* é o conteúdo de trabalho para a família *i*;
- *Toperação<sub>i</sub>* é o tempo médio de operação de uma ferramenta da família *i*;
- *Objetivo diário<sub>i</sub>* é o valor objetivo, em unidades, que a célula de montagem deve produzir da família *i* para um dia de trabalho;

Calculado o conteúdo de trabalho, determinou-se o número de postos de trabalho necessários pela equação (7).

$$Nr PT = \frac{\text{Conteúdo de trabalho total}}{\text{Tempo disponível}} \quad (7)$$

Em que:

- *Nr PT* representa o número de postos de trabalho necessários;
- *Conteúdo de trabalho* é o conteúdo de trabalho, em horas, total da célula de montagem para um dia de trabalho;
- *Tempo disponível* representa o tempo, em horas, em que a célula de montagem está a trabalhar por dia.

Assim, compilando todos os dados, obtiveram-se os resultados da Tabela 21.

Tabela 21 - Cálculo do número de operadores para cumprir objetivo diário.

Família	Tempo Oper. (min)	Obj. dia (uni)	Conteúdo total (min)	Total (min)	Tempo Turno	Nr operadores	Objetivo dia (€)
E922	1,0	73,0	69,8	361,8	7,5	0,80	46 491,00 €
E993	1,7	40,5	70,1				
E991	9,4	13,2	124,5				
E990	5,0	6,8	33,8				
E992	10,2	2,5	25,3				
E925	1,1	7,0	7,8				
E931	7,4	0,9	7,0				
E946	14,7	1,6	23,5				

Assim, verifica-se que apenas seria necessário um operador para a célula de Montagem. Contudo, estrategicamente e como indicado por superiores hierárquicos tomou-se a decisão de manter dois operadores na célula constantemente. Esta decisão foi justificada por dois motivos:

1. Verificou-se que o resultado, com duas casas decimais do número de operadores necessários é de 0,80, este valor, apesar de menor que um, é próximo de 1 pelo que, arredondado às unidades, caso ocorra um ligeiro aumento do conteúdo de trabalho, implicaria a alocação de um segundo operador. Também é de notar que foram consideradas as ferramentas com maior impacto nas vendas e com maior número de unidades produzidas. Contudo, empiricamente, reconhece-se que as ferramentas com menor rotação são mais exóticas pelo que o tempo de operação pode subir exponencialmente comparadas às restantes, devido à sua complexidade.
2. O cálculo para o número de operadores foi realizado com base no objetivo diário que a montagem tinha de cumprir, que por sua vez estava alinhado com o objetivo de vendas anual da fábrica: 46491€. No entanto, como verificado em 4.2.2, o WIP da célula não era de todo constante. Este facto era preocupante na medida em que sendo a montagem o penúltimo posto de trabalho antes da expedição, a administração tinha a expectativa que esta célula consiga tratar toda a carga, ou, pelo menos, a maioria da carga de trabalho que lhe chegava diariamente.

Estes motivos têm ainda mais impacto se se considerar que cerca de 15% a 20% das encomendas tinham carácter urgente pelo que deixar o cliente à espera e correr o risco que quebrar o laço com o mesmo tinham de ser reduzidos. A Figura 40 ilustra o WIP da célula de Montagem nos primeiros sete meses do ano de 2023.

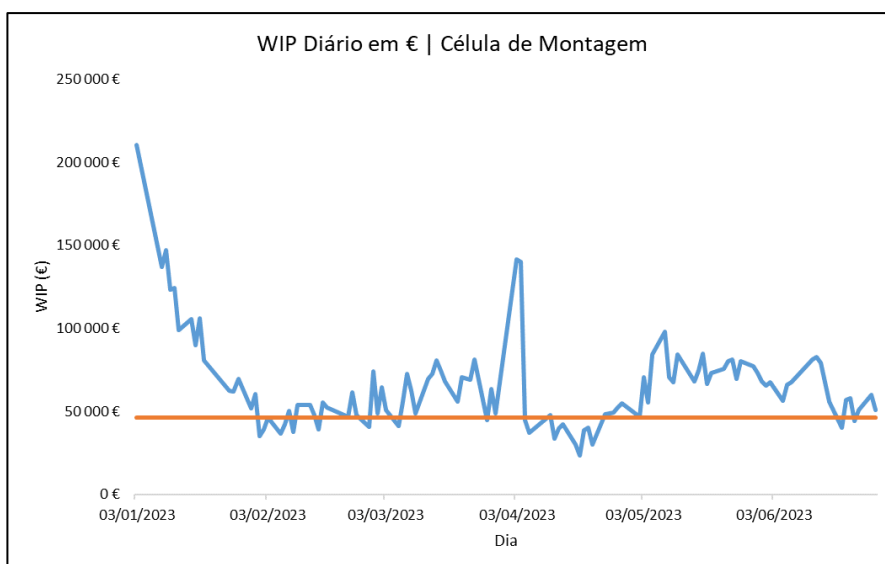


Figura 40 - Evolução do WIP da célula de montagem nos primeiros sete meses de 2023.

Este gráfico permite constatar a oscilação do WIP da célula e a frequência com que este é superior ao objetivo diário, tendo-se mantido assim durante a maioria do período analisado. Posto isto, recalculou-se o número de operadores assumindo como “objetivo diário” (equação (6)) não o estipulado anteriormente, mas a média de WIP semanal (62.467 €) e o máximo semanal de WIP (74.511€) – Tabela 22.

Tabela 22 - Cálculo do número de operadores considerando WIP médio e máximo.

Família	Tempo Oper. (min)	Obj. dia (uni)	Conteúdo total (min)	Total (min)	Tempo Turno	Nr operadores	WIP (€)
E922	0,9	103,3	71,4	454,48	7,50	1,10	62 467,98 €
E993	1,7	54,4	91,3				
E991	9,4	17,8	168,3				
E990	4,6	9,1	42,3				
E992	9,0	3,3	30,0				
E925	1,1	9,4	10,1				
E931	7,4	1,3	9,4				
E946	14,7	2,1	31,6	587,06	7,50	1,30	74 511,83 €
E922	1,0	123,2	117,8				
E993	1,7	64,9	112,4				
E991	9,4	21,3	200,8				
E990	5,0	10,9	54,1				
E992	10,2	4,0	40,6				
E925	1,1	11,2	12,5				
E931	7,4	1,5	11,2	37,7			
E946	14,7	2,6	37,7				

Assim, verificou-se que tendo em conta o objetivo de conseguir montar e expedir todo ou a maior parte do WIP que chega à célula, eram necessários dois operadores e não um, como verificado anteriormente. A este resultado alia-se o facto de para 2024 o objetivo diário de produção ser de 60.000 €, resultado só possível com dois operadores.

Relativamente ao fluxo inconstante de carga, este é um problema que, embora vise diretamente a célula de produção e obrigue a um risco de sobredimensionamento dos seus recursos, tem de ser tratado de forma holística e deverá ser iniciado um projeto que envolva as várias áreas da fábrica de forma a mitigar este problema. Na secção 7.2 é explicitada esta hipótese e tecidas as razões de forma pormenorizada.

#### 5.1.4 Organização e implantação intracelular

Esta secção apresenta as atividades necessárias para concluir a atividade de organização e implantação intracelular.

##### 5.1.4.1 Redefinição do layout da célula

A proposta de um novo *layout* partiu do facto de, primeiramente, o *layout* inicial já não ser analisado em busca de melhoria há alguns anos e, desde então, a variedade dos produtos, a sua preponderância e as operações a executar para cada ferramenta terem vindo a alterar. Adicionalmente, existiam máquinas e equipamentos que deveriam estar próximos entre si, e outros equipamentos que deveriam ser afastados.

Numa primeira fase, foi importante estabelecer requisitos e objetivos para a redefinição do *layout*. Por um lado, relativamente aos requisitos, a área útil não poderia aumentar e o local da célula de montagem tinha de se manter. Existiam, ainda, máquinas que, tendencialmente, deviam ser colocadas o mais afastadas possível, tal como a máquina de medição e a de furação de modo a evitar a contaminação da primeira com detritos de furação e a consequente possibilidade de se obter dados de medição errados. Um exemplo de máquinas/equipamentos que deviam ser colocados juntos, mas que não estavam, era a máquina de espuma (para as embalagens) e a bancada de embalamento. De referir que existia liberdade para retirar, acrescentar e/ou aumentar o tamanho das bancadas de trabalho.

##### 5.1.4.2 Aplicação do método CORELAP

Com o intuito de concretizar e esquematizar os requisitos, e para que cada pontuação seja associada a um critério, foi elaborado um diagrama de *Muther* (Figura 41). Estes pesos foram atribuídos mediante os critérios expostos na Tabela 23.

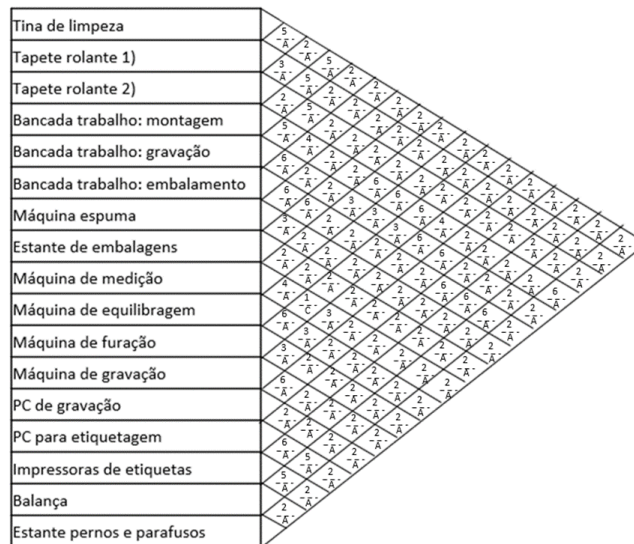


Figura 41 - Diagrama de Muther.

De forma a propor novas alternativas para o *layout* da célula de montagem, recorreu-se ao método CORELAP. Como referido anteriormente, este método baseia-se numa matriz de relacionamento que atribui uma pontuação à relação entre dois espaços de trabalho ou máquina, tendo como critério a frequência de interação e dependência funcional entre as atividades que ocorrem nesses espaços, tal como explícito na Tabela 23.

Tabela 23 - Código e motivo para a atribuição do Grau de Relacionamento.

Código	Motivo
A	Fluxo de materiais
B	Fluxo de pessoas
C	Risco de contaminação

Com base no diagrama de *Muther*, foram atribuídos pesos a cada relação entre duas entidades. A Tabela 24 ilustra todas as entidades, sejam máquinas, equipamentos ou bancadas, consideradas para a redefinição do layout, bem como o valor do TCR e a ordem de alocação para cada entidade. Como discutido anteriormente, eliminou-se a “mesa de apoio”, visto que esta não tinha nenhuma função relevante na célula. No Apêndice 9 – Matriz de Relacionamento para aplicação do método CORELAP, encontra-se a matriz de relacionamento.

Tabela 24 - Valor do TCR e ordem de Alocação | Método CORELAP.

Equipamento	TCR	Ordem de Alocação
Bancada trabalho: montagem	61	1
Bancada trabalho: embalagem	58	2
Bancada trabalho: gravação	53	3
Máquina de gravação	45	4

Equipamento	TCR	Ordem de Alocação
Máquina de equilibragem	44	5
PC para etiquetagem	43	6
Impressoras de etiquetas	43	7
Balança	42	8
Máquina de furação	41	9
PC de gravação	40	10
Tapete rolante 1)	39	11
Máquina de medição	39	12
Tina de limpeza	38	13
Máquina espuma	37	14
Estante de embalagens	37	15
Tapete rolante 2)	36	16
Estante pernos e parafusos	36	17

Com base nestes valores e seguindo o método descrito na secção 2.3.2, foram obtidas três alternativas que foram analisadas e estão descritas nas secções seguintes. De referir que durante a construção dos *layouts* tentou-se alocar os equipamentos de modo que o fluxo de materiais e de pessoas ocorresse no sentido contrário aos ponteiros do relógio. De modo a tornar mais explícito como seria o fluxo de materiais, desenhou-se a cor laranja o fluxo teórico para as ferramentas de metal duro (por exemplo E922 e E993) e a cor azul o fluxo teórico de ferramentas de corpo de aço (E991).

#### 5.1.4.2.1 Alternativa 1

Considerando que as duas primeiras entidades a alocar seriam as bancadas de montagem e de embalagem, estas foram colocadas de modo contíguo sendo que as restantes máquinas e equipamentos foram alocados seguindo o algoritmo. O *layout* obtido encontra-se na Figura 42.

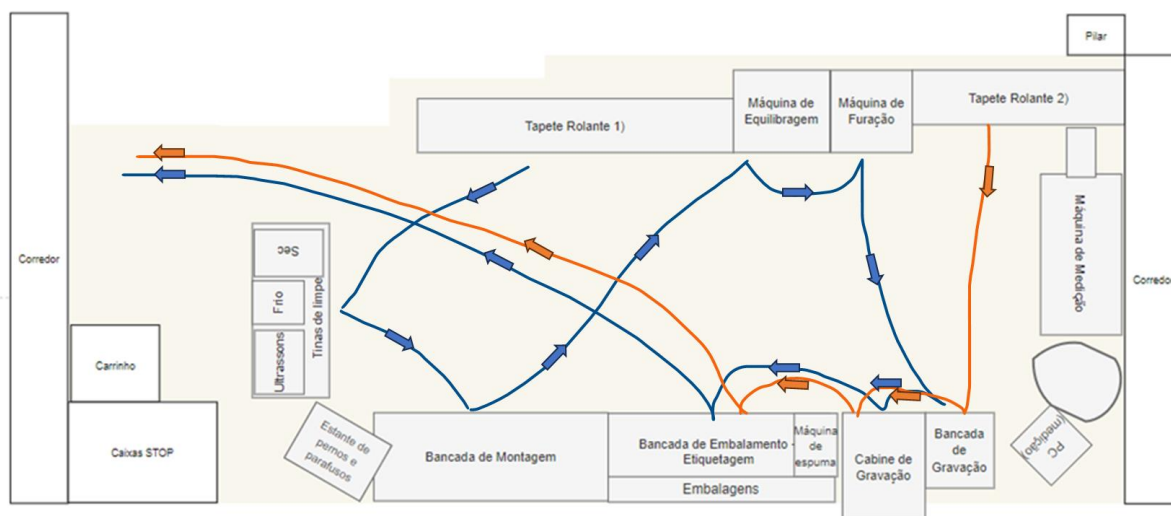


Figura 42 - Alternativa de layout 1).



Analisando esta alternativa, verificou-se que para ferramentas de aço (nomeadamente E991) o operador necessitava de cruzar a célula duas vezes, a primeira para alcançar o material a tratar que se encontrava no tapete rolante 1) e, posteriormente, para equilibragem e possível furação da ferramenta. Relativamente a ferramentas com corpo de metal duro, ou seja, que não necessitavam de lavagem, nem equilibragem nem furação, o operador teria de cruzar a célula apenas para alcançar as ferramentas no início do processo.

De referir que a máquina de medição e a de furação foram colocadas o mais distante possível pelo motivo já descrito. A estante de pernos e parafusos foi aproximada ao máximo da bancada de montagem numa tentativa de evitar que o operador se tenha de se movimentar aquando da montagem de componentes.

Em suma, pela análise dos fluxos de materiais estudados verificou-se que, de facto, não existia um ganho óbvio em alocar as bancadas de montagem e de embalagem de modo adjacente visto que não existia um único momento em que o material ou o operador passasse diretamente de uma bancada para a outra.

#### 5.1.4.2.2 Alternativa 2

Tendo por base outra iteração do método CORELAP e, não alocando, primeiramente as duas bancadas de trabalho de modo adjacente, obteve-se o *layout* da Figura 43.

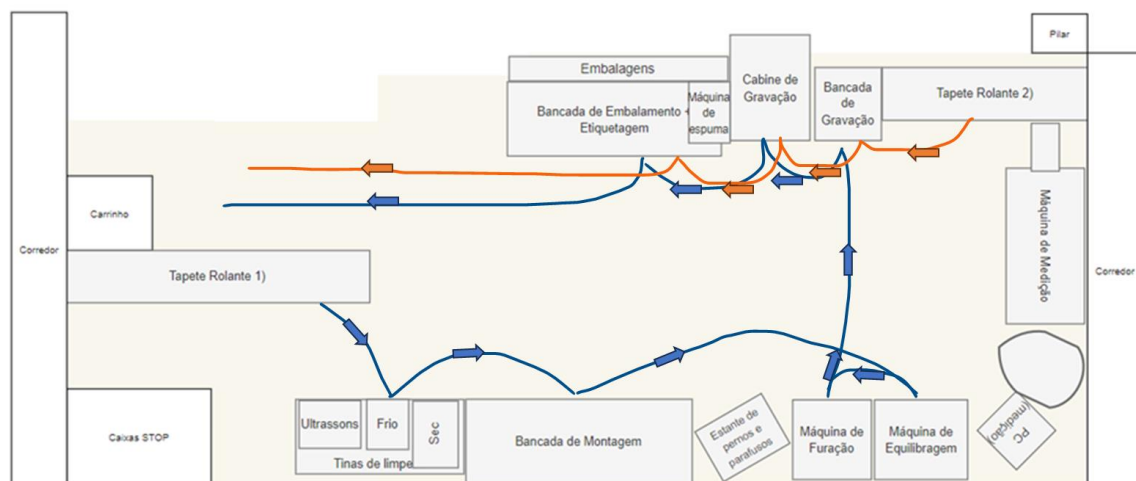


Figura 43 - Alternativa de layout 2).

Desta vez, dispuseram-se as bancadas de montagem e de embalagem em lados opostos da célula, mas a relativa curta distância (2,20 m). Além disso, a máquina de equilibragem e de furação foram aproximadas da bancada de montagem visto que estas máquinas eram utilizadas logo a seguir à montagem de componentes. Neste *layout* para que fosse possível afastar ao máximo a máquina de

furação da máquina de medição, inverteu-se a ordem pela qual a máquina de furação e de equilibragem deveriam estar dispostas atendendo à sequência de operações. Esta medida provocava um fluxo cruzado na área destes dois equipamentos, visto que primeiramente se realizava a equilibragem e só depois a furação, mas acabava por afastar mais a máquina de furação da de medição.

Relativamente ao fluxo de materiais, para ferramentas de corpo de metal duro este seria relativamente retilíneo, sendo estas ferramentas alcançadas a partir do “Tapete rolante 2)” seguindo para a bancada de gravação, etiquetagem e posteriormente expedidas. Para as ferramentas de corpo em aço (sendo as mais comuns as E991), o fluxo de materiais seguiria o sentido contrário aos ponteiros do relógio, não havendo necessidade de cruzar a célula a meio do processo, sendo apenas necessário, avançar a etapa de medição, visto que não se aplicava a esta família.

#### 5.1.4.2.3 Alternativa 3

Como terceira alternativa obteve-se o *layout* da Figura 44. Nesta alternativa foi possível afastar a máquina de medição e a da furação, verificando-se, ainda, que adjacente à bancada de montagem estariam as máquinas utilizadas logo a seguir à montagem, minimizando-se, assim, movimentações e transportes, que entre a bancada de montagem e a equilibragem e a furação seriam de 1,50 e 2,20 metros.

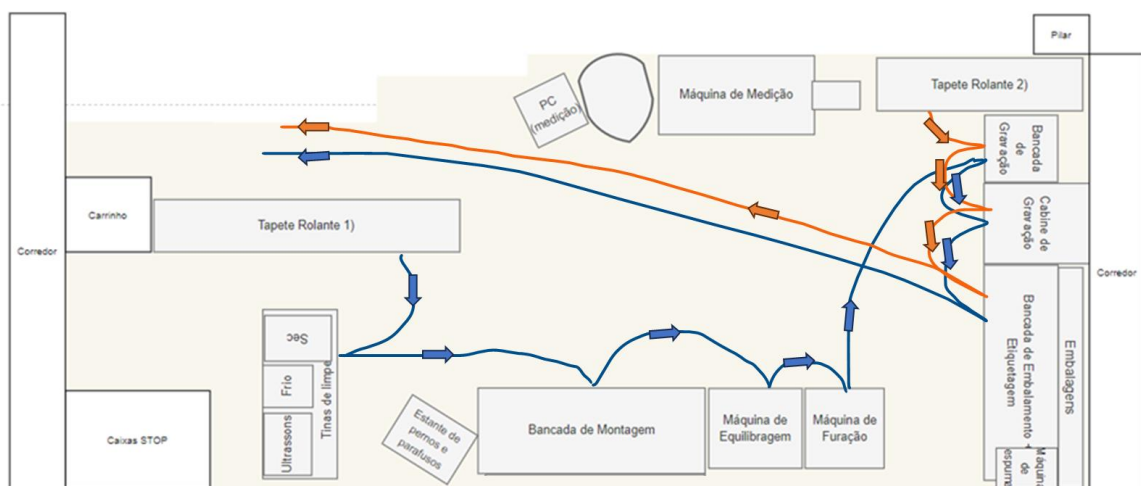


Figura 44 - Alternativa de layout 3).

Nesta alternativa seria possível ter um fluxo de materiais e de pessoas no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, não sendo necessário o operador cruzar a célula para a realização de uma tarefa.

#### 5.1.4.2.4 Avaliação de alternativas

Atendendo ao facto de terem sido produzidas três alternativas para o novo *layout* da célula de montagem, avaliaram-se as várias hipóteses segundo os seguintes critérios:

- Distância teórica percorrida;

- Fluidez do fluxo de materiais;
- Dificuldade de reconfiguração;
- Facilidade de reposição de materiais.

Ora, relativamente à distância percorrida, esta foi calculada atendendo ao centro de massa de cada equipamento ou máquina e teve-se por base o fluxo das ferramentas E991 por um lado e por outro lado, o fluxo das ferramentas de corpo de metal duro (E922 e E993), visto que estas eram as três principais famílias. Assumiu-se, também, quer para o cálculo da distância percorrida quer para a análise da fluidez do fluxo de matérias que os lotes eram unitários e seguiam a rota padrão, não havendo defeitos, logo não existindo a possibilidade de retrabalho e o possível retrocesso a um posto de trabalho anterior para correção desse mesmo defeito. Concretizando, o fluxo de materiais seria o representado nas secções 5.1.4.2.1, 5.1.4.2.2 e 5.1.4.2.3 para cada *layout*, respetivamente.

Para o critério de fluidez do fluxo de materiais considerou-se, essencialmente, se existia a necessidade de fluxos cruzados e o retrocesso a áreas da célula já anteriormente ultrapassadas.

Quanto à dificuldade de reconfiguração, avaliaram-se o número de equipamentos que teriam de ser deslocados, a dificuldade e custo da sua deslocação e consequente ativação. Por outras palavras, existiam equipamentos, tal como a máquina de medição que, sempre que movidos, implicavam nova calibragem por um técnico especializado da marca, havendo, obviamente um custo associado. Entre estas máquina contabilizam-se a máquina de equilibragem e a medição com um custo de 300€ e 500€ para a sua recalibração, respetivamente.

Por último, com o novo *layout* pretendia-se que a reposição de materiais fosse realizada de forma fácil e direta pelos operadores da logística, tentando sempre que a reposição de materiais fosse realizada por fora da célula, ou seja, não implicando que se tivesse de entrar diretamente na célula para repor *stocks*.

Para a atribuição de uma pontuação a cada um dos critérios, realizou-se uma análise de fatores ponderados (*Weighted Factor Analysis*) entre as alternativas e atribuiu-se uma pontuação com base nessa comparação.

Visto que os quatro critérios para tomada de decisão não tinham todos o mesmo valor para a empresa, havendo fatores que deviam ser priorizados em detrimento de outros, o peso de cada fator foi atribuído com base no que os *stakeholders* do projeto esperam atingir e mais valorizam.

Por exemplo, se a alternativa 1 permitia uma reposição de materiais melhor do que a alternativa 2 e esta era, por sua vez, melhor que a alternativa 3, as pontuações seriam 3, 2 e 1, respetivamente. Podia,

ainda, ser considerada a hipótese de empate e mais do que uma alternativa teria a mesma pontuação. A atribuição desta pontuação foi realizada entre o autor desta dissertação, o supervisor de produção e o diretor de operações.

Como todos os critérios eram subjetivos à exceção da distância percorrida, calcularam-se as distâncias obtendo-se um número absoluto e depois esse número é comparado com os restantes para se sejam possível atribuir uma pontuação, tal como suprarreferido.

A Tabela 25 resume a pontuação dada em cada um dos critérios, para cada uma das alternativas, bem como o peso de cada critério no panorama geral.

*Tabela 25 - Análise de fatores ponderados para cada alternativa de layout.*

Critério		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Distância percorrida	Distância absoluta (m)	E922 + E993	9,6	5,9	8,7
		E991	18,1	14,7	16,8
	Pontuação		1	3	2
	Fator		0,3		
Pontuação ponderada		0,3	0,9	0,6	
Fluidez do fluxo de materiais	Pontuação		1	2	3
	Fator		0,3		
	Pontuação ponderada		0,3	0,6	0,9
Dificuldade de reconfiguração	Pontuação		2	1	1
	Fator		0,15		
	Pontuação ponderada		0,3	0,15	0,15
Facilidade de reposição de materiais	Pontuação		3	2	1
	Fator		0,25		
	Pontuação ponderada		0,75	0,5	0,25
Pontuação Total		1,65	2,15	1,9	

Em primeiro lugar, calculada a distância percorrida para a produção das três famílias de produtos, fica evidente que a alternativa 2 é a que minimiza a distância percorrida, independentemente do tipo de produto que se trata.

Relativamente ao fluxo de materiais, observando a Figura 42, Figura 43 e Figura 44 da secção 5.1.4, verificou-se que a alternativa 1 é a que tem pior desempenho quando se considera o número de vezes que os fluxos de materiais se cruzam, evidenciado pela interseção das linhas que representavam o fluxo de materiais. Logo esta alternativa teve a pior pontuação neste critério.

De seguida, foi possível constatar que na alternativa 2, o operador seria forçado a retroceder na célula para executar uma operação, concretamente no que à equilibragem e furação da ferramenta concerne. Apesar de ser *a priori* algo mínimo e que apenas envolve a deslocação de cerca de um metro, foi este o

critério adotado para distinguir a fluidez do fluxo de matérias entre a alternativa 2 e 3, tendo esta última levado a melhor pontuação.

Quanto à dificuldade de reconfiguração, verificou-se que, quer para a alternativa 2, quer para a alternativa 3 todos os equipamentos, máquinas e bancadas teriam de ser deslocados face à configuração existente, pelo que, para este critério, estas duas alternativas eram virtualmente semelhantes. Já na alternativa 1 a máquina de gravação e a bancada de embalamento permaneceriam no local igual ao vigente antes da alteração do *layout*. Posto isto, foi dada uma pontuação de “2” a esta última alternativa, pois, apesar de não obrigar à deslocação de todos os equipamento e máquinas, os equipamentos que ficavam no mesmo local eram aqueles cujo transporte e posterior ativação e calibração eram mais simples e não envolviam a contratação de serviços externos. Por outras palavras, apesar de melhor que as restantes, o impacto real não era assim tão significativo ao ponto de merecer a pontuação máxima. A alternativa 1 e 2 tiveram um ponto pelos motivos supracitados.

Por fim, quanto à facilidade de reposição de materiais, existiam dois pontos que necessitavam frequentemente de ser repostos com materiais: a prateleira com embalagens e a estantes de pernos e parafusos. Destes dois locais, atendendo à estrutura inicial dos mesmos, apenas era possível repor a partir de fora da célula a prateleira de embalagens, visto que, tal como visível Tabela 6 da secção 4.1.3, a estante de pernos era constituída por pequenas caixas que necessitavam de ser trocadas ou repostas pela parte frontal. Ou seja, foi considerado para este critério a facilidade em repor pernos e parafusos pela parte frontal e a possibilidade de se repor o *stock* de embalagens do lado exterior da célula.

Atendendo ao descrito, a única alternativa em que seria possível repor o *stock* de embalagens do lado exterior da célula era a alternativa 1, visto que para todas as outras hipóteses a estante de embalagens estava encostada a uma parede (em 3) ou a um outro centro produtivo (em 2). Comparando a alternativa 2 com a 3, a diferença residia no quão mais no interior da célula estavam estes armazéns temporários, ou seja, no quanto mais teria de se deslocar o operador da logística para reabastecer e no quão mais provável era que este, ao realizar o abastecimento, pudesse causar descoordenação e entropia na célula de montagem. Concretizando, induziu-se que para a alternativa 3 a entropia gerada por cada reposição seria maior, visto que a prateleira de embalagens se encontrava no canto oposto ao local de entrada dos operadores da célula, ao contrário do que acontecia na alternativa 2, sendo que a localização da estante de pernos era relativamente semelhante em ambos os casos. Deste modo, para este critério a alternativa 1, 2 e 3 tinham uma pontuação de 3, 2 e 1, respetivamente.

Atribuídos os pontos, para cada critério multiplicou-se a pontuação obtida por determinada alternativa de *layout* pelo fator (30%, 15% ou 25%), obtendo-se, assim, a “Pontuação ponderada”. A “Pontuação Total” é, então, a soma da “Pontuação ponderada”, para cada alternativa, para cada critério. Concluindo, pela Tabela 25, o *layout* da alternativa 2 foi o que obteve um melhor desempenho, pelo que foi esta a implantação adotada.

#### 5.1.4.3 Definição do modo operatório

Para a definição do modo operatório a adotar, foi necessário ter em conta algumas restrições, nomeadamente a diferença na polivalência e habilidade entre operadores. Tal como ilustrado pela Matriz de Competências (Figura 81 do Apêndice 7 – Matriz de competências da célula de montagem), existem diferenças significativas entre os operadores, sendo que o operador 3 é o que revela menos habilidade, de modo geral. De notar também que existem algumas tarefas, relacionadas com a afinação de buris e manuseio da máquina de medição que só o operador 1 é capaz de executar com distinção. Adicionalmente, existem tarefas que devem ser realizadas com o operador sentado. Estas restrições tornam difícil a implementação de modos operatórios mais flexíveis como o *Toyota Sewing System* ou *Bucket-Brigades*. Adicionalmente, o facto de existirem produtos muito diversificados e cujo número e tipo de operações necessárias são díspares significaria que, no caso de se aplicar *Rabbit-Chase* poder-se-ia correr o risco de estarem os dois operadores a necessitarem de realizar a mesma operação em fases diferentes do processo, para famílias diferentes e com o número de unidades por lote diferente, causando entropia e esperas.

Posto isto, decidiu-se optar pelo método de organização *Working Balance* em que existem tarefas alocadas a cada operador, sendo estas fixas e imutáveis e em que a carga está tendencialmente dividida de modo equitativo entre os operadores.

Tal como referido anteriormente, o operador 1 é o mais habilidoso e com maior experiência pelo que lhe foram alocadas as tarefas mais exigentes. Visto que, como explicitado no capítulo 4.1 apesar de haver três operadores no total que podiam operar na célula, apenas estavam dois operadores ao mesmo tempo, tendo sido esse também o número definido no capítulo 5.1.3.

Assim, foram alocadas todas as tarefas relativas a limpeza, gravação, embalamento e etiquetagem ao operador 2/3, ou seja, ao operador 2 ou 3, dependendo de qual estiver em serviço. Ainda foi alocada a estes operadores a tarefa de preencher a *checklist* do processo e a finalização do processo de fabrico no MES (*Manufacturing Execution System*), comumente denominada por “manutenção de caixa”.

Visto que existem famílias de produtos cujas tarefas necessárias a realizar são apenas as descritas anteriormente, produtos das famílias E922 ou E993, por exemplo, ficam inteiramente sob a responsabilidade do operador 2 ou 3.

Como explicitado anteriormente, sendo o operador 1 o mais expedito e hábil, é da responsabilidade deste a realização das tarefas mais complexas e mais minuciosas tais como a montagem de pernos parafusos e outros componentes, a medição, quando necessário, de cotas de brocas centrais e de buris, a realização de testes de equilibragem e a furação ou introdução de pernos de equilibragem para ajuste do centro de massa da ferramenta. De notar que as famílias onde estas operações são realizadas são famílias com corpo de aço, pelo que é necessário proceder à sua lavagem na tina de limpeza. Apesar de esta tarefa ser simples, por uma questão de minimização das deslocações dos operadores e balanceamento da carga de trabalho, foi alocada ao operador 1.

Alocadas as tarefas a cada um dos operadores foi calculada a carga de trabalho absoluta (para os primeiros sete meses do ano de 2023) e proporcional, tal como explicitada pela Tabela 26.

*Tabela 26 - Proporção da carga alocada a cada operador após aplicação de Working Balance.*

<b>Operador</b>	<b>Carga (horas)</b>	<b>Carga %</b>
Operador 1	402,2	42,2%
Operador 2/3	551,6	57,8%
Total	953,8	100%

Em suma, pode-se concluir que a carga se encontra relativamente bem balanceada, havendo uma diferença de cerca de 15%.

A menor carga registada a favor do operador 1, não é de todo um problema significativo, visto que, as tarefas alocadas a este trabalhador são as mais complexas, sendo, por isso, a que podem ver os seus tempos de execução prolongarem e existir uma maior chance de ocorrerem problemas e ser necessário retrabalho. A alocação das tarefas para cada família a cada operador encontra-se no Apêndice 10 – Distribuição das tarefas por cada operador segundo o modo Working Balance.

#### 5.1.4.4 Sequenciamento de produtos

Definido o modo operatório, é necessário estabelecer regras para o sequenciamento de produtos. Como referido no capítulo 4.1.2, no que concerne à ordem pela qual cada ordem de fabrico é tratada, existe já uma regra a seguir, sendo que essa regra se manterá. Ou seja, a célula de montagem deve tratar as ordens de fabrico com base na sua data de entrega e de acordo com o seu estado de prioridade.

Concretizando, a prioridade é: urgências, atrasos e data de entrega ao cliente, da data mais próxima em relação ao momento presente à mais afastada em relação ao momento presente.

Contudo, visto que a uma ordem de fabrico pode estar associada um lote unitário ou um lote de três, quatro, vinte ou até mais ferramentas, importa estabelecer regras para a operação das unidades dentro de cada lote.

Assim, tendo em conta a natureza das tarefas alocadas anteriormente, a sequência de produtos para o operador 1 e 2/3 é diferente.

No caso do operador 1, a sequência de operação deverá tender para o *one-piece-flow* (OPF) visto que este pode e deve seguir cada unidade do produto do início ao fim, executando todas as operações necessárias em cada ferramenta antes de começar a tratar de nova ferramenta. A exceção a esta regra prende-se com a lavagem inicial das ferramentas na tina de limpeza. Visto que as ferramentas devem estar no processo de lavagem cerca de cinco minutos, para que o operador não seja sujeito a este tempo de espera sempre que inicia o trabalho numa nova ferramenta, ainda que do mesmo lote, este deve colocar o maior número possível de unidades do mesmo lote a lavar para que, enquanto decorre este processo, o operador esteja ocupado com as restantes tarefas. Assim que termina a execução de uma unidade, a próxima ferramenta do lote já se encontrará lavada e pronta a ser montada, eliminando-se, assim, esperas.

Relativamente ao operador 2/3, este deve operar sob uma filosofia de produção por lotes por diversos motivos.

Em primeiro lugar, a máquina de gravação tem a capacidade de gravar várias ferramentas em sequência sem intervenção humana, ou seja, o operador pode colocar na máquina três, cinco ou vinte ferramentas, programar a máquina e os eixos da máquina deslocar-se-ão de modo que todas as ferramentas sejam gravadas. De notar que apenas funcionará para ferramentas de encabadoiro como E922 ou E993. Ou seja, faz sentido colocar todo o lote em questão na máquina e aproveitar este automatismo do que colocar apenas uma ferramenta para gravação e ajustar manualmente a sua oposição para cada uma delas. Em segundo lugar, mesmo que se adotasse *one-piece-flow*, finalizada a primeira ferramenta, esta não poderia partir para o próximo centro de trabalho, porque não só é necessário preencher uma *checklist* do processo que só pode ser realizada aquando da finalização de todas as ferramentas do lote, como também a FMT quantifica o seu WIP e gere a sua produção por Ordem de Fabrico e não por unidades *per si*, o que impede que uma unidade de determinada OF siga o seu fluxo sem que todas as



restantes unidades da mesma OF o possam fazer também. Ou seja, neste caso específico, as vantagens do OPF não seriam observadas.

#### 5.1.4.5 Documentação do método e organização da célula

De forma a ilustrar o proposto neste capítulo e para que o processo fique oficial e seja possível dar formação aos operadores, foram produzidos dois mapas para o registo e documentação das ferramentas de *Standard Work*, nomeadamente o *Standardized Work Chart* e *Standardized Work Combination Table*, associados ao modo operatório e áreas de atuação e ao sequenciamento de tarefas, respetivamente.

##### 5.1.4.5.1 Standardized Work Chart

O *Standardized Work Chart* ilustra o modo como os operadores se devem movimentar e em que momento devem realizar determinada operação. Também, evidencia em que momentos deve haver um maior cuidado com a segurança do operador e em que momento são realizadas operações de inspeção.

Foram produzidas cartas para as famílias E922, E993 e E991. Como cada carta é relativa ao movimento e ação de um operador e como na montagem das ferramentas E991 interagem os dois operadores da célula, foi elaborada uma carta para o operador 1 e para o 2, Figura 45 e Figura 46, respetivamente. As cartas para a família de produtos E922 e E993 encontram-se no Apêndice 11 – Standardized Work Chart para famílias E922 e E993.

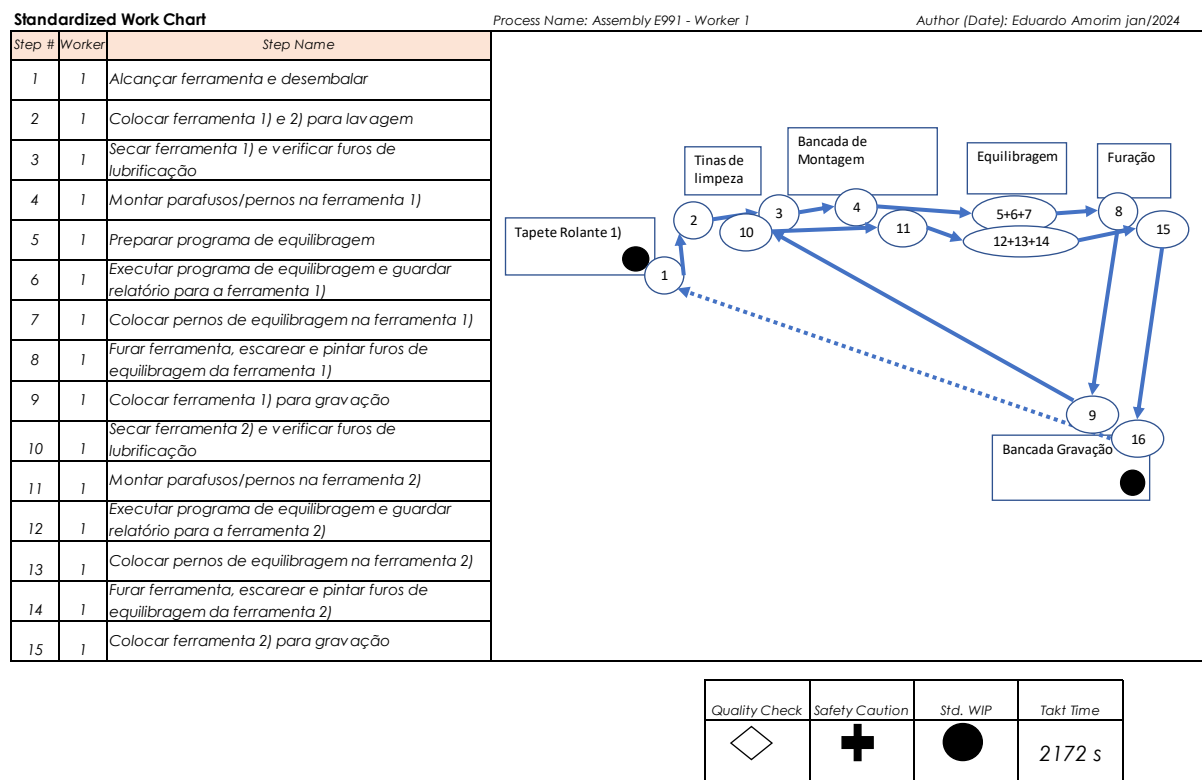
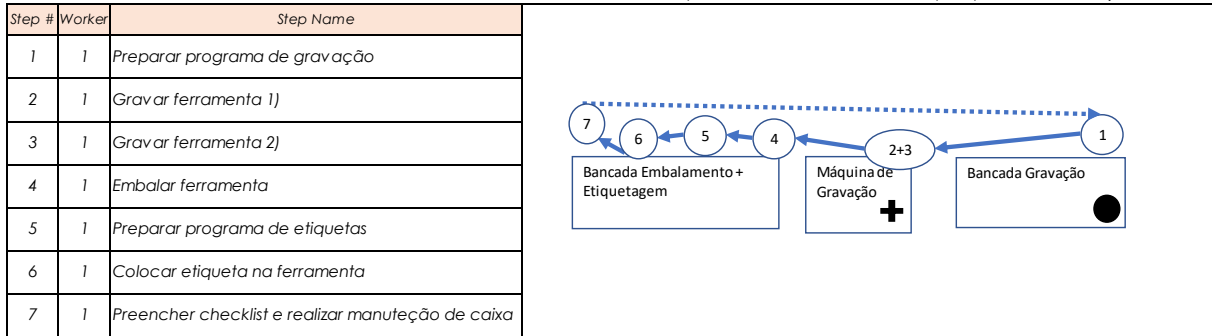


Figura 45 - Standardized Work Chart para a família E991 - Operador 1.

**Standardized Work Chart**

Process Name: Assembly E991 - Worker 2

Author (Date): Eduardo Amorim jan/2024



Quality Check	Safety Caution	Std. WIP	Takt Time
◇	+	●	2172 s

Figura 46 - Standardized Work Chart para a família E991 - Operador 2/3.

5.1.4.5.2 Standardized Work Combination Table

A *Standardized Work Combination Table* permite ilustra os tempos despendidos em cada tarefa, quer seja tempo de operação manual, ou tempo de máquina, ou seja, de um processo automático que envolve o acompanhamento direto de um operador. Adicionalmente permite representar o tempo gasto em movimentações entre tarefas e esperas.

Combinados todos estes tempos, é gerado um tempo total de operação que é comparado com o *Takt-Time*. Naturalmente, o tempo total de operação deve ser menor do que o TT de modo a satisfazer a procura.

Uma vez mais foram realizadas cartas para as famílias E991, E993 e E922. Para esta última família a carta encontra-se na Figura 47 e para as restantes encontra-se no Apêndice 12 – Standardized Work Combination Table para famílias E993 e E991.

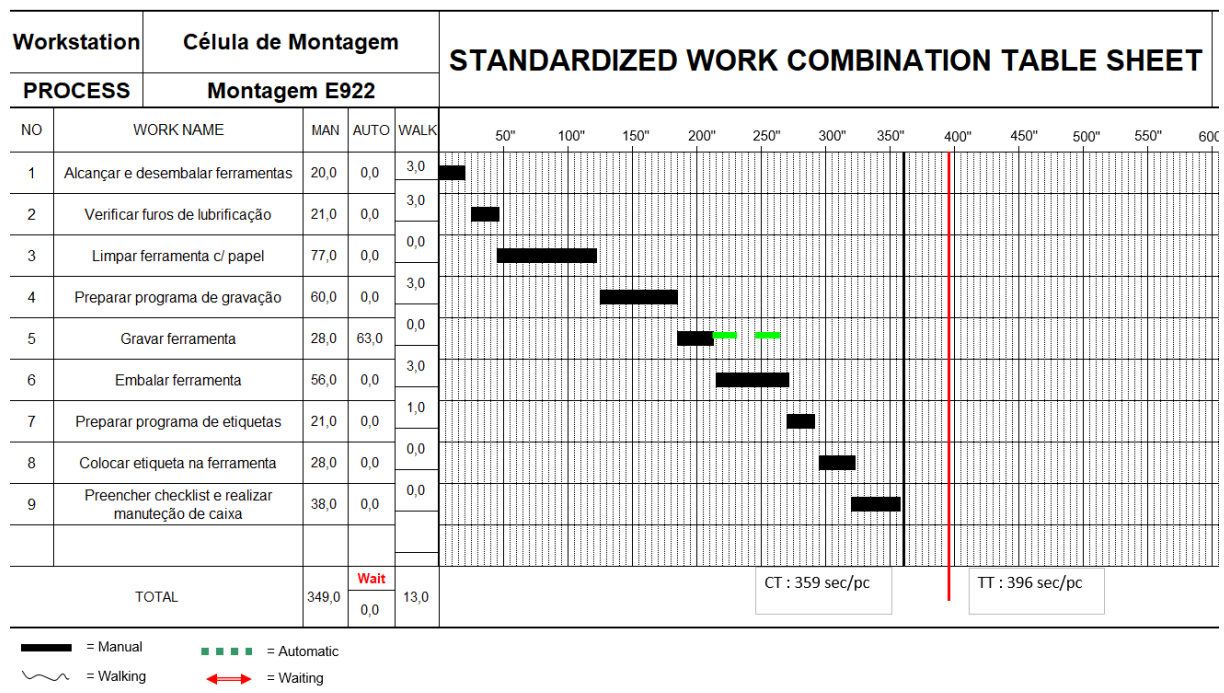


Figura 47 - Standardized Work Combination Table para a família E922.

### 5.1.5 Integração e coordenação da célula no sistema de produção

No que concerne à localização da célula de montagem no chão-de-fábrica da FMT, esta manteve-se na medida em que não se encontrou nenhuma vantagem na sua mudança visto que, como referido, esta célula recebe materiais de vários centros de trabalho e é o último centro de trabalho, para qualquer material antes da inspeção final. Viste que, na atual localização a célula de montagem já se encontra adjacente a esta área de inspeção.

#### 5.1.5.1 Abastecimento de pernos e parafusos

Como já referido, a célula de montagem necessita de *stock* de vários componentes e materiais para montar e embalar uma ferramenta, nomeadamente pernos, parafusos e embalagens.

Relativamente aos pernos e parafusos, colocaram-se na célula, nomeadamente na bancada de montagem, pequenas covetes com várias referências de pernos e parafusos (as mesmas covetes que estavam na estante de pernos e parafusos – Tabela 7 da secção 4.1.3). Durante o período de análise (primeiros sete meses de 2023) foram consumidas 82 referências diferentes de pernos e parafusos. Contudo, o espaço dedicado à armazenagem temporária destes componentes só tem capacidade para 70 covetes, como evidenciado pela Tabela 27.

Tabela 27 - Cálculo do número de covetes a colocar na bancada de montagem.

Rail Frontal		Rail Lateral	
largura covete (mm)	103	largura covete (mm)	103
largura rail (mm)	910	largura rail (mm)	706
número rails (mm)	5	número rails (mm)	5
nr covetes /rail	8	nr covetes /rail	6
nr covetes	40	nr covetes	30
Nr covetes Total: 70			

Posto isto, tendo por base a análise ABC da Tabela 44 (Apêndice 6 – Consumo de Pernos e Parafusos) serão colocadas na bancada da montagem as 65 referências mais consumidas, sendo que todas as estas referências são consumidas, em média, pelo menos uma vez por mês. Embora as restantes referências não tenham uma rotação significativa, é necessário que estes materiais estejam disponíveis na célula no momento em que são necessários e na quantidade necessária. Desta forma, os cinco espaços vazios têm o intuito de servir como local de armazenagem para as restantes referências.

O sistema de abastecimento para estas referências funciona da seguinte forma: os operadores da logística têm uma janela no *software* ERP que indica os materiais que estão a ser necessários em determinado momento para determinada OF, sendo também indicado o centro de trabalho onde está a ser gerada essa necessidade.

Visto que existe um intervalo de tempo entre o despoletar da necessidade de abastecimento de determinado material e a entrega do mesmo por parte da logística, a necessidade de abastecimento destes materiais será, de modo artificial, gerada dois centros de trabalho antes da célula de montagem. Assim, é garantido que quando, de facto, a montagem necessitar destes componentes, estes já terão sido entregues pela logística. De notar que só será gerada necessidade de abastecimento dos pernos e parafusos que não estiverem em *stock* na célula, sendo que este ponto é programável no ERP.

Por sua vez, de forma a tornar mais fácil a procura destas embalagens nas covetes aquando da montagem da caixa associada, as cinco covetes que estão livres estão divididas por intervalos dos números das caixas. A Figura 48 ilustra o resultado final da aplicação deste raciocínio.



Figura 48 - Divisão dos números de caixas pelas covetes.

#### 5.1.5.2 Abastecimento de embalagens

Relativamente à reposição de *stock* de embalagens, o objetivo é sempre o de facilitar a tarefa aos operadores da logística, tendo sendo em consideração o sistema como um todo. Sendo assim, manteve-se a frequência de abastecimento da logística à montagem, isto é, duas vezes por dia.

Contudo, a diferença para o sistema inicial reside no facto de existirem indicações claras sobre em que momento deverá ser realizado esse abastecimento e em que quantidade. Concretizando, para cada referência de embalagens colocada nas prateleiras da bancada de embalamento, existem duas covetes, uma atrás da outra. Deste modo, é possível aplicar a política das duas caixas, ou seja, o operador da montagem usa as embalagens da caixa da frente, que é a mais próxima de si e a de acesso mais fácil, e quando se esgotam as embalagens este coloca a covete vazia atrás da covete com material. Por sua vez, num dos dois momentos em que a logística passa pelas áreas da produção deverá verificar se existem caixas vazias. Em caso afirmativo, estas caixas deverão ser recolhidas, levadas para a área da logística, abastecidas com embalagens e trazidas de volta à célula de montagem.

No fundo esta abordagem permite standardizar não só a rotina de reposição, como é de fácil adaptação face ao sistema inicial, visto que é mantida a frequência de reposição. Assim, a grande diferença para o método inicial deve-se ao facto de só se abastecer quando existem caixas completamente vazias e a quantidade de embalagens a repor está, também, predefinida evitando-se, assim, a criação de um inventário sobredimensionado e não adequado às verdadeiras necessidades da célula.

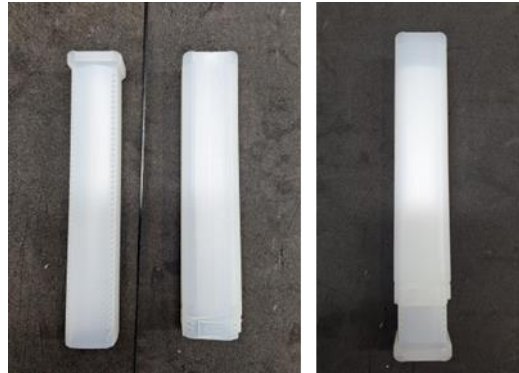
De notar que se adaptou o tamanho das covetes ao tamanho da embalagem e ao consumo da mesma com o objetivo de se ter em *stock* na montagem o dobro do consumo médio diário de determinada referência.

##### 5.1.5.2.1 Preparação de embalagens pela logística

Sendo um dos objetivos deste projeto a eliminação das estantes de embalagens que se encontram fora da célula e a centralização de todos os locais de armazenamento de embalagens dentro a própria célula, foi necessário tomar algumas medidas para que fosse possível ter todas as referências de embalagens disponíveis num espaço restrito, especificamente, na bancada de embalamento projetada.

Tendo em conta que as embalagens (à exceção das de madeira) são constituídas por duas partes, uma base e um topo (Figura 49), algumas referências de embalagens, seja pela sua reduzida rotação ou pela sua elevada dimensão, passarão a ser abastecidas à montagem já encaixadas. Este facto permite colocar o dobro das embalagens para a mesma área *ceteris paribus*, visto que em vez de serem necessárias

duas covetes, uma para a base uma para o topo, é apenas necessária uma covete para a embalagem já encaixada.



*Figura 49 - Exemplo da base e do topo de uma embalagem separados e encaixados, respetivamente.*

De notar que algumas combinações de embalagens partilham componentes. Por exemplo, a “base” de uma embalagem pode ser encaixada em “topos” diferentes, ou seja, o mesmo componente pode pertencer a duas combinações de embalagem. Para estes casos foi decidido que se manteria uma covete para cada componente. Na Figura 50 está ilustrado um exemplo de uma base que pode ser combinada com dois topos diferentes.



*Figura 50 - Exemplo de base de embalagem compatível com dois topos.*

#### 5.1.5.2.2 Disposição das referências de embalagens na bancada de embalamento

Após definido quer a rotina de abastecimento de embalagens, quer quais são as referências que são pré-preparadas pela logística, foi definida a disposição destas referências na bancada de embalamento.

Como referido no capítulo 5.1.5.2, o tamanho de cada covete foi adaptado a cada referência de modo a minimizar o espaço ocupado por cada referência, mantendo um *stock* mínimo de dois dias, preferencialmente.

Numa primeira fase, calculou-se, com base nos dados da Tabela 43, o *stock* mínimo que é necessário existir disponível na montagem para fazer face a dois dias de consumo, não contando com reposição, ou seja, assumiu-se um cenário pessimista de que o consumo de uma embalagem poderia facilmente

quadruplicar face à média. Este foi o cenário considerado, visto que, empiricamente, constatou-se que uma embalagem poderia não ser utilizada durante alguns dias, apenas para depois aparecer uma necessidade de oito embalagens de determinada referência para determinado lote. Num caso destes o consumo diário é relativamente baixo, mas é necessária uma quantidade significativa de embalagens face à média para satisfazer a necessidade de produção em determinado momento.

Numa segunda fase, realizou-se uma pesquisa de mercado para se encontrar covetes adequadas às restrições expostas, ou seja, que pudessem abarcar a quantidade mínima de unidades de embalagens necessárias sem ocupar um volume excessivo nas prateleiras. De notar que também se considerou as covetes que a FMT já possui.

Numa terceira etapa, assumiu-se que existiriam pelo menos três prateleiras com embalagens ao longo da bancada de embalamento, tal como atualmente. Já relativamente ao comprimento da mesma, considerou-se nesta fase que o valor máximo permitido seria de sensivelmente 2,30 m. Esta foi uma medida que se revelou adequado para dar o pontapé de saída à tarefa de dimensionamento da bancada de embalamento, sendo que poderá, sem qualquer entrave ser aumentada ou diminuída.

Durante este processo percebeu-se que o espaço inicialmente idealizado não seria suficiente para abarcar todas as referências, visto que existe cerca de 80 referências de embalagens diferentes entre embalagens *per si* e outros acessórios tais como carapuças e *tool holders*. Além de que existem embalagens de cartão cuja dimensão é significativa (cerca de 90 cm de largura e comprimento) e embalagens de plástico que podem ascender aos 40 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro.

Deste modo, decidiu-se dimensionar não só uma prateleira inferior, ou seja, por baixo do tampo da bancada para colocação dos *tool holders* como foi necessário projetar uma nova estante, numa estrutura independente da bancada de embalamento para armazenar as embalagens de cartão e as embalagens de plástico de maiores dimensões.

De notar que, para que fosse possível ocupar o menor espaço possível e devido ao elevado número e referências distintas destes acessórios, as covetes de carapuças foram empilhadas aos pares, ou seja, foi colocada uma covete com a referência A empilhada sobre a referência B, tal como ilustrado na Figura 51.



Figura 51 - Exemplo de caixas empilhadas.

#### 5.1.6 Novo Procedimento para a definição de embalagens

Como reportado anteriormente, um dos problemas que os operadores da célula de montagem enfrentavam era a escolha de uma embalagem adequada para cada produto. De modo a facilitar esta tarefa, elaborou-se um novo procedimento que inclui um programa em VBA para definir qual a embalagem da ferramenta, indicando a referência interna da embalagem e uma fotografia para facilitar a identificação visual. Nas secções seguintes é apresentado o procedimento.

##### 5.1.6.1 Funcionamento do programa

Assim, como dados de entrada no programa, o utilizador deveria inserir:

- 1) família do produto;
- 2) diâmetro e comprimento da ferramenta;
- 3) diâmetro de corte;
- 4) número de ferramentas do lote;
- 5) tipo de ferramenta (broca, fresa ou mandril);
- 6) Peso.

Seguidamente, o algoritmo deve correr a base de dados de embalagens que estiverem disponíveis, e, seleccionar aquela embalagem que cumprir as regras básicas definidas e que minimize o “espaço livre da embalagem”. Por outras palavras, seria seleccionada a embalagem mais pequena possível (quer em diâmetro quer em comprimento), mas que tivesse a capacidade para guardar a ferramenta. Existiam, ainda, algumas especificidades contempladas tais como a possibilidades de serem seleccionadas embalagens múltiplas (normalmente cada ferramenta segue numa embalagem individual) e a possibilidade de se restringir *a priori* a escolha do algoritmo a um certo tipo de embalagens, caso o utilizador assim o deseje. Este último aspeto era particularmente importante, visto que a FMT fabrica



ferramenta por encomenda e, pode surgir algum caso em que justifique esta restrição. De notar que existem três grandes tipos de embalagens: embalagens de plástico, embalagens de cartão e embalagens de madeira.

#### 5.1.6.2 Utilização do programa

Definido o programa, era necessário determinar quem o usaria, quando e como. Uma das hipóteses seria entregar este ficheiro aos operadores da montagem para que estes o utilizassem sempre que tivessem de embalar uma ferramenta. Ou seja, quando a ferramenta estivesse pronta a ser embalada, os operadores abririam este programa, inseriam os dados e alcançavam a embalagem ditada pelo algoritmo.

Contudo, esta opção apresentava algumas falhas, nomeadamente, o facto de ser acrescentava mais uma tarefa ao processo da montagem, o facto de que não devia ser função dos operadores determinar como era embalado o produto, mas apenas embalar-lo devidamente e, ainda, nos casos em que era necessário, de facto, definir *a priori* que uma ferramenta tinha de ser embalada com caixas de madeira, esse ónus não deveria passar para os operadores da célula. Por outras palavras, era objetivo retirar tarefas aos operadores da montagem e diminuir a possibilidade de se errar a escolha da embalagem.

Posto isto, definiu-se que este algoritmo seria utilizado pelo Departamento de *Design* durante a conceção do produto e que a referência da embalagem deveria ser colocada no desenho e na BOM da ferramenta para ser consultado pelos operadores da célula de montagem aquando da chegada do produto a este centro. A Figura 52 ilustra o menu de introdução e dados do algoritmo:

<b>Dados ferramenta</b>	
Comprimento (mm)	
Ø máximo ferramenta (mm)	
Ø corte mínimo (mm)	
Peso (kg)	
Família	
Qtd	
Cone	
Tipo de ferramenta:	
Restringir procura a caixas de:	

Atribuir Embalagem

Limpar Dados de Entrada

Limpar Dados de Saída

Figura 52 - Menu de introdução de dados do algoritmo de embalagens.

De notar que cada lote de ferramentas em chão-de-fábrica está acompanhado pelo desenho técnico da ferramenta. No Apêndice 13 – Código em VBA do algoritmo de seleção de embalagens, encontra-se o código do programa. Adicionalmente, de modo a automatizar este processo de inserção de dados no

algoritmo, foi explorada a hipótese de se incorporar este algoritmo no programa CAD usado pelo departamento de *Design* aquando da elaboração do desenho técnico da ferramenta e consequente criação da BOM e ordem de fabrico.

Neste sentido, em vez de os dados da ferramenta serem introduzidos manualmente no algoritmo, esses dados seriam retirados do ficheiro CAD de modo automático e a referência de embalagem seriam adicionadas à BOM, havendo, também, deste modo, um controlo mais eficaz do consumo de embalagens e sendo possível fazer uma previsão de que referências de embalagens se iria consumir e em que quantidade.

## 5.2 Aplicação da técnica 5S e gestão visual

Esta secção apresenta a aplicação da técnica 5S e gestão visual nas áreas da célula de montagem.

### 5.2.1 Primeira etapa: triar

Tal como constatado na secção 4.2.9, o material e ferramentaria da célula de montagem encontrava-se desarrumado e disperso. Assim, numa primeira fase e seguindo a ferramenta 5S, foi necessário proceder a uma triagem de todos os materiais para verificar quais os que eram necessários, os que não estavam em bom estado e aqueles que se encontravam repetidos. Para tal, foi necessário averiguar todo o material que se encontrava em cada um dos três locais de arrumação: painel perfurado, armário e mala de ferramentas. Como verificado na secção 4.2.9, visto que nem os operadores tinham uma noção clara dos materiais que dispunham, foi necessário retirar todo os materiais que estavam quer no armário, quer na mala. A Figura 53 ilustra o material que estava armazenado na mala de ferramentas.



*Figura 53 - Material armazenado na mala de ferramentas.*

Disposto todo este material, foram analisadas, em conjunto com os três operadores, todas as ferramentas com o intuito de decidir quais as ferramentas a manter e quais as que não eram necessárias,

quer por se encontrarem num elevado estado de degradação, quer por existir uma ferramenta duplicada ou equivalente em melhor estado, quer por simplesmente já não ser necessária determinada ferramenta pelo facto de o processo de montagem ter mudado. De notar que se decidiu manter algumas ferramentas, nomeadamente as chaves sextavadas, em duplicado pelo facto de serem utilizadas frequentemente e haver a possibilidade de os dois operadores da montagem precisarem das mesmas em simultâneo – Figura 54.



*Figura 54 - Chaves sextavadas duplicadas.*

As ferramentas descartadas nesta fase e que se encontravam num estado adequado, foram colocadas à disposição de outros postos de trabalho ou enviadas para sucata.

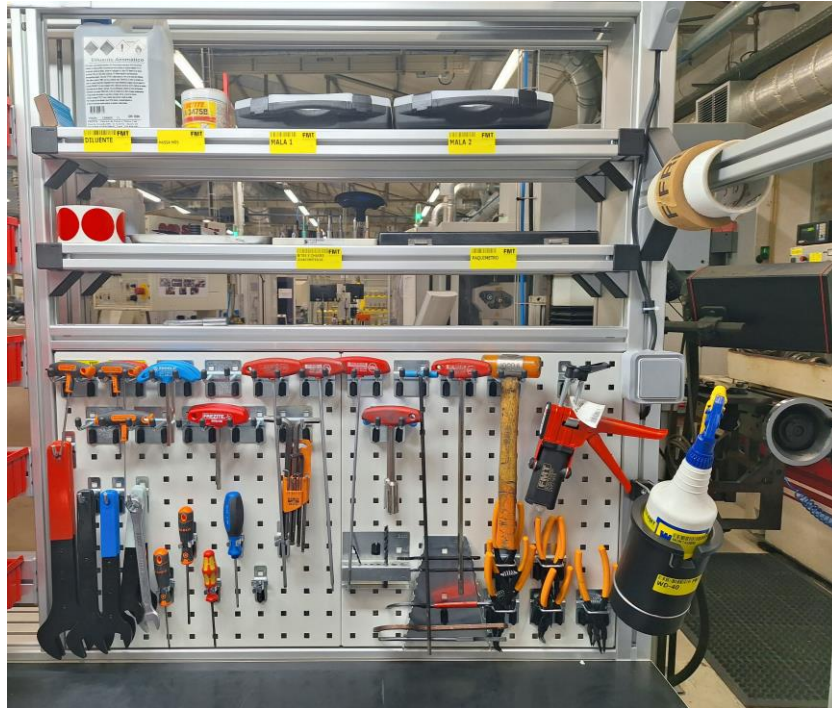
O inventário do material que ficou na célula após a triagem encontra-se no Apêndice 14 – Inventário da célula da Montagem.

#### 5.2.2 Segunda etapa: arrumar

Após uma primeira separação das ferramentas que eram ou não necessárias e que seriam de manter na célula de montagem, foi necessário arrumá-las e dispô-las de maneira visualmente apelativa para fácil identificação.

Deste modo, atendendo ao elevado número de ferramentas (61 ferramentas) e ao espaço limitado do novo painel perfurado, cerca 92x49 cm, foi necessário distinguir as ferramentas em duas classes: A – frequentemente utilizada, B – pouco utilizada e C – raramente utilizada.

As ferramentas do tipo A e B foram colocadas na própria bancada de montagem, as A no painel perfurado para fácil acesso e as B em pequenas malas de ferramentas e colocadas nas prateleiras superiores da bancada – Figura 55.



*Figura 55 - Locais de arrumação de ferramentaria da bancada de montagem.*

Apesar de ser reconhecido que não é um espaço ideal para colocação de material, pois o acesso não é tão facilitado, visual e ergonómico (operador tem de se baixar para alcançar material) as ferramentas do tipo C, foram colocadas por baixo do tapete rolante 2.

Este foi o compromisso possível na medida que se priorizou as ferramentas mais utilizadas para colocação num local mais acessível., visto que não era possível aumentar os espaços de arrumação da célula, nem faria sentido colocar armários fora da célula sendo que um dos objetivos era, também, eliminar as deslocações dos operadores para fora da célula.

### 5.2.3 Terceira etapa: limpar

No que concerne à terceira etapa desta ferramenta, a limpeza do material foi realizada aquando da colocação do mesmo nos espaços de arrumação na etapa anterior. Além disso, tendo em conta que a bancada de montagem era nova, encontrava-se num estado ótimo e limpo, pelo que não foi necessário proceder a qualquer limpeza extra.

### 5.2.4 Quarta etapa e quinta etapa: padronizar e disciplinar

Relativamente à quarta e quinta etapa, visto que o objetivo é o de padronizar e disciplinar os operadores para o cumprimento dos 5S, a FMT já possui um sistema para tal, na medida em que a cada trimestre são realizadas auditorias a todos os centros produtivos não sendo a célula de montagem uma exceção.

Estas auditorias são acompanhadas pelos capitães de equipa, pelos responsáveis de melhoria contínua (no qual o autor desta tese se inclui), pelo supervisor de produção e pelo próprio diretor de operações. O envolvimento das chefias neste processo demonstra o quanto estas valorizam um local de trabalho limpo e arrumado.

Para cada centro e para cada auditoria é preenchida uma lista de verificação com uma determinada pontuação para cada ponto e calculada uma classificação. Após a auditoria é definido um plano de ações para cada centro com os tópicos a melhorar, sendo que é da responsabilidade do capitão de equipa a atribuição de responsáveis para cada ação (pode ser qualquer elemento da secção em questão) e a definição de datas de fecho da ação. Este plano de ações é monitorizado e acompanhado de perto pelos responsáveis de melhoria contínua e pelo diretor de operações.

#### 5.2.5 Gestão Visual

Após a aplicação de 5S na célula, e restando apenas as ferramentas necessárias e na quantidade necessária, procedeu-se à colocação de etiquetas em cada local de armazenamento de ferramentaria.

Relativamente ao painel perfurado, optou-se por colocar etiquetas no próprio gancho que sustenta o utensílio no painel, ficando expresso o nome da ferramenta e a quantidade – Figura 56.



*Figura 56 - Exemplo de uma etiqueta de um material.*

O facto de ser evidente o número de ferramentas que devem constar em determinado local é essencial, visto que, como referido na secção 5.2.1, existem ferramentas duplicadas, pelo que só o facto de existir uma unidade no local certo, não significa que todos os exemplares de determinada ferramenta estejam no local correto.



No que concerne às prateleiras, foi colocada uma etiqueta com o nome de cada utensílio que deve ser posicionado em determinado espaço da prateleira – Figura 57



Figura 57 - Identificação do material nas prateleiras da bancada de montagem.

Relativamente às pequenas malas com ferramentas várias que foram colocadas nas prateleiras da bancada, de modo a haver um registo do inventário e permitir que o operador verificasse se o utensílio que necessita está de facto nessa mala sem que a tenha de abrir e vasculhar o seu interior, foi realizado o inventário de cada uma das malas, com ferramenta e quantidade disponível, e colado à mala, tal como exemplificado na Figura 58.

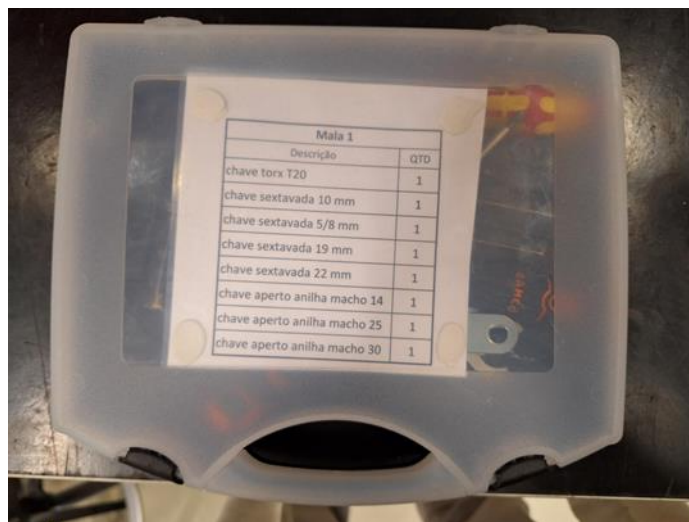


Figura 58 - Mala de ferramentas da montagem.

### 5.3 Digitalização e melhoria de processos

Esta secção apresenta a digitalização de alguns processos, assim como a melhoria de outros.

#### 5.3.1 Lista de tecnologias

Como descrito na secção 4.1.5, aquando da gravação, o operador tem de inserir os parâmetros do feixe de laser, para a primeira ferramenta de cada lote. Esta etapa implicava inserir vários parâmetros tal como a potência, velocidade do feixe, duração do pulso do pulso e frequência do feixe, pelo que, sendo esta tarefa manual, está sujeita a erros.

De modo a contornar esta situação, em vez do método inicial, foi aproveitada uma funcionalidade do próprio *software* de gravação que permite guardar tecnologias. Ou seja, é possível definir uma combinação de potência, velocidade, pulso e frequência, guardar essa combinação e dotar-lhe de um nome.

Sempre que existe a necessidade de gerar um novo programa de gravação, é apenas necessário seleccionar, a partir do nome, a tecnologia pretendida. A Figura 59 ilustra o menu de seleção das tecnologias definidas.

	Power (%)	Speed (mm/s)	Frequency (Hz)	Pulse width (µs)	>>>
OXIDADO FMT	100.00	100.00	300,000	0.040	>>>
azul(DESFOCAR 3MM)	100.00	100.00	300,000	0.040	>>>
AÇO NÃO OXIDADO (Fill 1 e 2 com 0.04 mm)	50.00	500.00	50,000	0.260	>>>
castanho(desfocado3mm)	100.00	100.00	200,000	0.040	>>>
METAL DURO CORTANTE	42.00	1,200.00	50,000	0.260	>>>
METAL DURO ENCABADOURO	30.00	100.00	150,000	0.100	>>>
OXIDADO FMT	70.00	2,500.00	50,000	0.260	>>>
OXIDADO STANDARD WALTER	40.00	1,500.00	25,000	0.260	>>>
RECOBRIMENTO HM	80.00	800.00	100,000	0.260	>>>
*	70.00	2,500.00	50,000	0.260	>>>

Figura 59 - Lista de Tecnologias de Gravação.

### 5.3.2 Gravação semiautomática de ferramentas

A máquina de gravação a laser dispõe de um eixo móvel, ou seja, é possível que o emissor do laser se movimente em X, Y e Z – comprimento, largura e altura. Como tal, a máquina tem a capacidade de realizar várias gravações consecutivas sem que o operador tenha de intervir, se programada para tal.

Para que se possível garantir a qualidade das gravações, torna-se evidente a necessidade de desenvolver um sistema anti-erro que permita ao operador posicionar as ferramentas de forma adequada.

Esta proposta de melhoria está assente em dois pilares: *software* – introdução de dados no programa de gravação, e *hardware* - gabaris para colocação das ferramentas.

Relativamente ao *software*, o programa de gravação recebe como *input* o próprio esquema de gravação, ou seja, o que é, de facto, gravado no produto final, a tecnologia e os seguintes parâmetros:

- a) Distância entre duas gravações no eixo X (*X offset*);
- b) Distância entre duas gravações no eixo Y (*Y offset*);
- c) Número de gravações em X;
- d) Número de gravações em Y;
- e) Eixo de início.

A Figura 60 ilustra a janela de introdução destes dados no *software*:

	Offset:	Count:	Count total:
X:	0,000	1	1
Y:	0,000	1	
Rot.:	0,000	1	

Start in Y direction

Figura 60 - Menu *software* para a gravação de ferramentas em sequência.

Relativamente ao *hardware*, o gabari desenvolvido terá de ter as seguintes características:

- a) Fácil aplicação e remoção da máquina de gravação;
- b) Simples e sem peças móveis para garantir a sua durabilidade;
- c) A distância entre duas ferramentas tem de ser constante (requisito do *software*);
- d) Cumprir com atravancamento e dimensões da cabine de gravação;
- e) Existência de um batente/barreira que permita acertar todas as ferramentas, ou seja, a base de cada ferramenta tem de estar na mesma cota em Y.

Visto que o real ganho desta proposta é quando se trata de lotes não unitários, o foco desta proposta, pelo menos numa fase inicial, é o de criar um sistema para a gravação de ferramentas de encabadouro, essencialmente E922, E925 e E993. Esta priorização deve-se a facto de ser mais fácil de desenvolver um sistema para estes produtos, por causa da sua geometria cilíndrica e pelo facto de serem as famílias que mais frequentemente são produzidas em lotes não unitários. Atendendo a estes requisitos desenvolveu-se um protótipo de gabari ilustrado na Figura 61.





*Figura 61 - Protótipo de gabari para gravação.*

Assim, o operador passa a colocar o maior número possível no gabari e coloca-o na máquina.

De seguida, prepara-se o programa de gravação de acordo com o número de ferramentas a gravar. De notar que a distância entre o eixo X está pré-definida e é fixa para o mesmo gabari, independentemente do diâmetro da ferramenta a gravar. Após este passo, basta mover o eixo da máquina até à primeira ferramenta a gravar, e executar o programa.

A grande vantagem desta proposta é que, deste modo se garante que todas as gravações são gravadas no mesmo local de cada ferramenta. Além disso, enquanto decorre a gravação, o operador está livre e pode executar outra tarefa.

### 5.3.3 Folha de material

Os operadores da célula de montagem tinham a necessidade de encomendar vários materiais auxiliares, tais como álcool, papel e até mesmo os barris de espuma para a máquina de espuma usado no embalamento de ferramentas. Como constatado na secção 0, a folha de material que existia na montagem, encontrava-se rasurada, desorganizada e incompleta.

Assim, foi elaborada uma nova folha com todos os materiais que a montagem necessita. Em adição a essa folha, foi adicionado o código de barras correspondente à referência do material a encomendar para que a criação da sua necessidade fosse simplificada e se eliminasse o passo de introdução manual da referência do produto a requerer. A Figura 62 ilustra um excerto folha de material final.















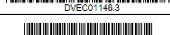


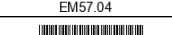



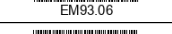
Código barras	Referência	Artigo	Código barras	Referência	Artigo
	9000180.00021	Brocas Ø2.1 (sucessivamente)		DVFT04937	Spray Preto
	9800119.001000	Chip Balluf		DVFT05244	Conjunto TPK26-PR-22K (Chaves dinamométricas)
	DVHS00199	LUVAS DA ANSEL HYFLEX FOAM		DVFT17142	RETOCADOR COMPACT. 827234 (Tinta MQL)
	DVEC00942.3	Etiqueta (rolo) 70x32mm - Grande		DVHS00113	PAPEL (ROLO)
	DVEC00979	FITA CARBONO ZEBRA		EM23.04	FITA COLA C/ LOGO FMT
	DVEC01145	Etiqueta 65x15mm Poliéster - Média		EM29.01	Sacos Plástico Pequenos (MINIGRIPZAKJES)
	DVEC01146.3	Etiqueta 80x8 mm Poliéster - Pequena		EM57.03	ESPUMA PU-C-Chem/Blue Instafil - Azul
	DVEC01686	EDDING 3000 Blau (Caneta Tinta preta - pintar ferramentas)		EM57.04	ESPUMA PU-C-Chem/Red Instafil - Vermelho
	DVFT00063	PINCEL Nº10		EM59.01	Instapak-Simple-Trennfolie - Sealed Air InstaPak
	DVFT00064	PINCEL Nº20		EM93.06	ETIQUETA EM PAPEL AUTOCOLANTE - Símbolo Qualidde
	DVFT00091	COLA ARALDITE		EM94.01	PAPEL VCI ANTIOX 70/1,00mx200m

Figura 62 - Excerto da folha de material da célula de montagem.

## 5.4 Plano de Formação

Toda e qualquer melhoria ou mudança no funcionamento de um posto de trabalho, deve ser acompanhada de uma atualização da documentação e ações de formação aos operadores envolvidos.

Assim, dividiu-se as ações em três vertentes com objetivos singulares:

- colmatar algumas falhas de conhecimento detetadas com a realização da matriz de competências;
- treinar os operadores ao novo modo operatório e funcionamento da célula em geral;
- mitigar diretamente o impacto das não-conformidades analisadas na secção 4.2.6.

Em primeiro lugar, pela matriz de competências apresentada no Apêndice 7, verificou-se que os operadores 2 e 3 não eram de todo expeditos relativamente à medição e afinação de buris bem como à emissão de relatórios de medição, sendo estas as atividades em que há maiores discrepâncias entre o operador 1 e os restantes. Ou seja, todas as tarefas que se realizam na máquina de medição deviam ser alvo de treino.

Ademais, verificou-se que também existia um défice de proficiência por parte do operador 2 relativamente a várias operações no que respeita a apertos modulares, nomeadamente à sua montagem e afinação, sendo que este apenas desempenha estas tarefas com a supervisão de um outro. Este operador também revelou algumas dificuldades na interpretação de desenho técnico.

Em segundo lugar, visto que se pretendeu implementar um novo modo operatório, é pertinente que estes operadores tenham formação e acompanhamento para que a sua adaptação a este novo modo de funcionamento fosse mais célere e para que de facto estas novas instruções fossem cumpridas. Esta formação foi ministrada em específico pelo autor desta dissertação visto que foi o próprio que formulou o funcionamento e tomou a decisão relativamente ao modo operatório.

Em terceiro lugar, parte das não-conformidades podiam ser mitigadas e mesmo eliminadas com um reforço da formação relativamente a alguns tópicos. Concretizando, a não-conformidade “gravação incorreta” pode ser mitigada com o treino dos operadores em relação à nova forma de proceder a esta tarefa recorrendo ao uso dos gabaris, à lista predefinida de tecnologias e ao posicionamento semiautomático do eixo do laser.

Já a “montagem incorreta” podia ser colmatada com formação em desenho técnico para que os operadores fiquem mais familiarizados com o *layout* dos desenhos e estejam mais aptos para perceber como deviam montar a ferramenta e que componentes deviam ser utilizados. Aliás, este tópico também vem de encontro à lacuna encontrada na matriz de competências e referida anteriormente.

Relativamente a “cortantes esmilhados/fissurados” foi reforçada a importância desta tarefa junto dos operadores, visto que já faz parte do seu caderno de encargos. Podiam, ainda, ser realizadas auditorias aleatórios para verificar se esta tarefa está a ser cumprida. Sobre este tópico, os operadores já sabem como identificar um cortante danificado, tratando-se de uma questão de cumprimento de funções e de disciplina.

O mesmo se aplica a “furos de lubrificação obstruídos”, ou seja, os operadores tinham consciência que deve verificar este aspeto da ferramenta, e têm meios adequados para o fazer. Por fim, relativamente a “sujidade nas ferramentas”, o sistema de lavagem semiautomático elimina esta falha na medida em que foi possível definir um tempo fixo para a lavagem das ferramentas. Como observado empiricamente, muito vezes o tempo estipulado para lavagem (cinco minutos) não era respeitado, pelo que isto deixou de acontecer com a implementação deste sistema. Para tal, os operadores devem, também, ter formação para o manuseio deste sistema.

Em suma, é de importância capital que os operadores fossem expedidos e capazes de realizar todas as tarefas que lhes competem e estes devem ser polyvalentes, sabendo desempenhar qualquer tarefa no caso de se verificar absentismo de um outro operador da célula. A Tabela 28 resume o plano de formação elaborado.

Tabela 28 - Resumo do plano de formação para os operadores da célula de montagem.

<b>Objetivo</b>	<b>Tópico</b>	<b>Duração</b>	<b>Formando</b>	<b>Formador</b>
Colmatar falhas de conhecimento	Medição de buris	2h	Operador 2 e 3	Operador 1
	Emissão de protocolos de medição	30 min	Operador 2 e 3	Operador 1
	Funcionamento geral da máquina de medição	1h	Operador 2 e 3	Operador 1
Adaptação ao novo modo operatório	Divisão de tarefas	30 min	Operador 1, 2 e 3	Eduardo Amorim
	Implementação de <i>One-piece-flow</i>	30 min	Operador 1, 2 e 3	Eduardo Amorim
Redução de não-conformidades	Manipulação do gabari de gravação	1h	Operador 1, 2 e 3	Eduardo Amorim
	Utilização da lista de tecnologias	30 min	Operador 1, 2 e 3	Eduardo Amorim
	Manipulação do eixo semiautomático	30 min	Operador 1, 2 e 3	Eduardo Amorim + fornecedor da máquina
	Formação de desenho técnico	6h	Operador 1, 2 e 3	Departamento de Design
	Como identificar cortantes esmilhado e como preveni-los	30 min	Operador 1, 2 e 3	Departamento de Qualidade
	Como detetar furos obstruídos e como resolver	30 min	Operador 1, 2 e 3	Departamento de Qualidade
	Manipulação do sistema semiautomático para lavagem de ferramentas	1h	Operador 1, 2 e 3	Fornecedor do sistema

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a implementação das propostas mencionadas anteriormente. Assim, é analisado o impacto real das ações de melhoria, evidenciando o estado inicial e o estado final de cada fator.

### 6.1 Redução da área da célula de Montagem

No capítulo 5.1.4, foi apresentado o *layout* que seria adotado para a célula de Montagem (Figura 43), visto que esta foi a implantação com melhor pontuação na *Weighted Factor Analysis* realizada. Uma das características desta implantação celular é que permitia um fluxo de pessoas e de materiais no sentido contrário aos dos ponteiros do relógio.

Contudo, o *layout*, tal como aprovado não permitia a reposição de embalagens por fora da célula, visto que a bancada e estante de embalagens estavam adjacentes a um outro centro de trabalho. Assim, por decisão das chefias, foi necessário rever esta alternativa de modo a dar maior ênfase à possibilidade de reposição de materiais por fora a célula do que ao facto de o fluxo de materiais e pessoas ocorrer no sentido contrário aos do ponteiro do relógio. Assim, decidiu-se inverter o *layout* da alternativa 2.

Adicionalmente, entre a discussão de alternativas para o *layout* da célula de montagem na secção 5.1.4.2.4 e o presente capítulo, foi necessário adicionar um novo equipamento: a estante de embalagens, tal como explícito na secção 5.1.5.2.2. Compiladas estas alterações, o *layout* final da célula de montagem é o seguinte – Figura 63.

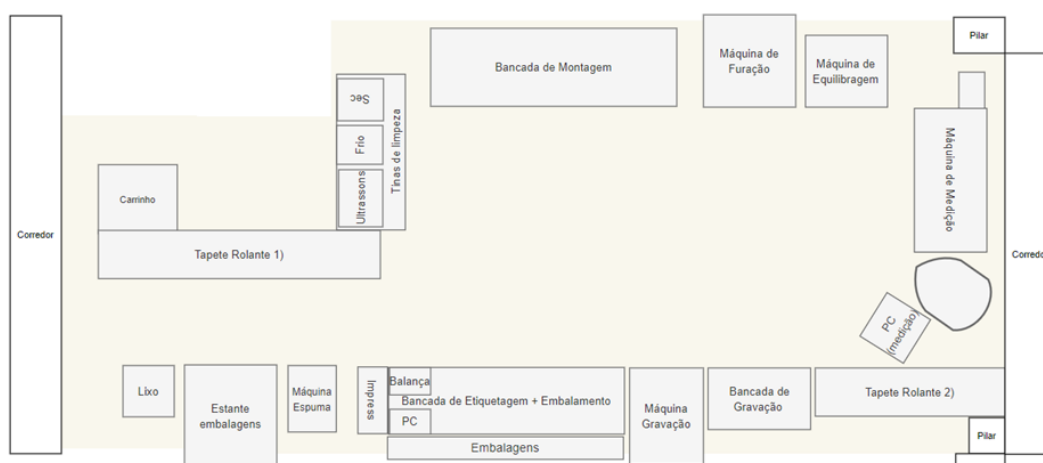


Figura 63 - Layout final da célula de montagem.

Com a implementação deste novo layout e com a reorganização das bancadas de trabalho e estantes de embalagens, foi possível eliminar por completo as estantes que se encontravam fora da célula de

trabalho, passando essa área a não só não ser necessária para a célula de Montagem, como também deixou esse espaço de estar cativado pela montagem, ficando, assim, livre para qualquer outra função ou necessidade. Concretizando, de uma área total inicial de 41 m<sup>2</sup>, a célula de Montagem, no final deste projeto passou a ocupar somente 32 m<sup>2</sup>, o que significa uma redução de 23% da área ocupada.



*Figura 64 - Nova estante de parafusos e porcas incorporada na bancada de montagem.*

A Figura 65 e Figura 66 ilustram a nova bancada de montagem e as bancadas de gravação e embalagem, respectivamente.



*Figura 65 - Nova bancada de montagem.*



*Figura 66 - Nova bancada de gravação e de embalagem, respectivamente.*

## 6.2 Redução de atividades e de tempo de não valor acrescentado

Tal como ilustrado em 4.2.4, o número e tempo despendido em atividades que acrescentam valor ao produto é relativamente baixo, nomeadamente para as famílias de produtos E991 e E993 onde as atividades que acrescentam valor representam 30% e 44% do tempo total, respetivamente.

Para averiguar o impacto das propostas de melhoria, foram realizados novos diagramas de sequência-executante, para cada uma das famílias: E922, E991 e E993. De notar que estas análises foram realizadas mantendo o número de ferramentas por lote, ou seja, se no diagrama de sequência-executante antes de melhorias foi avaliado um lote com 15 ferramentas, para o diagrama depois de melhorias este número foi mantido. Os diagramas completos encontram-se no Apêndice 15 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993 após implementação de melhorias.

A Tabela 29 resume os resultados obtidos e a comparação entre o estado inicial e o estado final para a família E922.

*Tabela 29 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E922.*

Família: E922		Antes de melhorias			Depois de melhorias		
		Nr	Tempo (s)	%	Nr	Tempo (s)	%
Operação	VA	8	528	62%	5	404	64%
	NVA	16	211	25%	8	142	22%
Transporte/ Movimentação		9	42	5%	10	23	4%
Inspeção		1	61	7%	1	56	9%
Esperas		1	7	1%	1	9	1%
Armazenamento		0	0	0%	0	0	0%
Total		35	849	100%	25	634	100%
Tamanho do lote		15					
Tempo operação (s/unidade)		57			42		

Pela análise da tabela disposta, verificamos que apesar do tempo absoluto despendido na realização de atividades que acrescentam valor ter diminuído, a sua percentagem face ao tempo total não sofreu alteração significativa. Isto deve-se ao facto de a tarefa de gravação das ferramentas ser agora mais expedita visto não ser necessário executar o programa de gravação individualmente para cada ferramenta, visto que agora é possível gravar em série. Além disso, a implementação dos gabaris permitiu a eliminação da tarefa de ajuste da posição da ferramenta (executada para cada uma das ferramentas) e ajuste da posição do feixe de laser, sendo estes passos agora automáticos.

Adicionalmente, verifica-se que o tempo despendido na preparação do programa de gravação diminuiu de 33 para 15 segundos, pelo facto das tecnologias de gravação estarem listadas e pré-gravadas.

Assim, constata-se que o número de atividades de não valor acrescentado diminuiu de 16 para 8 e o tempo despendido nestas diminuiu 69 segundos. Note-se, ainda, que os transportes e/ou movimentações diminuíram quase 50%, sendo este ganho aprofundado no capítulo seguinte. As operações de inspeção e esperas não sofreram alterações significativas. Por fim, pode-se inferir que o tempo de operação das ferramentas da família E922 diminuiu de 57 segundos para 42, ou seja, uma redução de cerca de 25%.

Relativamente à família E993, os resultados encontram-se na Tabela 30:

*Tabela 30 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E993.*

Família E993		Antes de melhorias			Depois de melhorias		
		Nr	Tempo (s)	%	Nr	Tempo (s)	%
Operação	VA	20	158	44%	16	118	39%
	NVA	10	145	40%	9	128	42%
Transporte/Movimentação		6	32	9%	6	26	9%
Inspeção		5	26	7%	5	25	8%
Esperas		1	2	1%	1	5	2%
Armazenamento		0	0	0%	0	0	0%
Total		42	363	100%	37	302	100%
Tamanho do lote		5					
Tempo operação (s)		72,6			60,4		

Em primeiro lugar, verificou-se o número de tarefas de valor não acrescentado não diminuiu significativamente, mas o seu tempo sim, tendo decrescido cerca de 17 segundos.

Tal como para a família E922, o ganho mais significativo advém do processo de gravação mais eficiente, na medida que foram, também, eliminadas as pequenas operações de ajuste da ferramenta para gravação e diminuídas as deslocamentos. No total, verificou-se que o tempo de operação foi reduzido em cerca de 12 segundos, culminado numa redução de 17%.

A comparação entre o diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias para a família E991 encontra-se na Tabela 31.



Tabela 31 - Comparação dos resultados do diagrama de sequência-executante antes e depois de melhorias - família E991.

Família: E991		Antes de melhorias			Depois de melhorias		
		Nr	Tempo (s)	%	Nr	Tempo (s)	%
Operação	VA	15	156	30%	16	152	34%
	NVA	14	164	31%	15	152	34%
Transporte/ Movimentação		19	98	19%	18	55	12%
Inspeção		2	27	5%	2	25	6%
Esperas		7	82	16%	6	61	14%
Armazenamento		0	0	0%	0	0	0%
Total		57	527	100%	57	445	100%
Tamanho do lote		2					
Tempo operação (s)		264			223		

Para família E991, verifica-se que não existe uma diminuição significativa nem no tempo nem no número das atividades de valor não acrescentado.

Na verdade, a principal diferença entre os resultados antes e depois de melhorias consiste na redução das atividades de transporte de quase 50% e uma redução de 20 segundos relativamente às esperas. A redução das movimentações é consequência direta do novo *layout* que permitiu eliminar as estantes de embalagem que estão no exterior da célula, eliminando a movimentação até lá, e do novo modo operatório e implementação de *one-piece-flow* que eliminou as viagens entre as várias bancadas e máquinas para alcançar e pousar as ferramentas.

Já a redução das esperas está diretamente relacionada com a implementação do novo modo operatório, sendo que, antes de implementado, o operador 1 esperou que o operador 2 desocupasse a máquina de gravação para que ele pudesse gravar a ferramenta que estava a manipular. Com a implementação do *Working Balance*, o operador 1, finalizada a operação de equilibragem simplesmente colocou a ferramenta na bancada de gravação e prosseguiu com as suas tarefas visto que é função do operador 2 gravar todas as ferramentas.

Por fim, o tempo de operação reduziu-se para 223 segundos, verificando-se uma diferença de 16% face ao registo antes de implementadas as melhorias.

### 6.3 Redução atividades de transportes e movimentações

Esta secção apresenta a redução de transportes e movimentações com as alterações realizadas.

### 6.3.1 Ajuste do *layout* da célula

De modo a averiguar o impacto da nova implantação celular no que concerne à redução de transportes e movimentações quer fora e dentro da célula, realizaram-se novos diagramas de *spaghetti* para as famílias E922, E991 e E993. A Figura 67 ilustra o diagrama de *spaghetti* com o novo *layout* para a família E922.

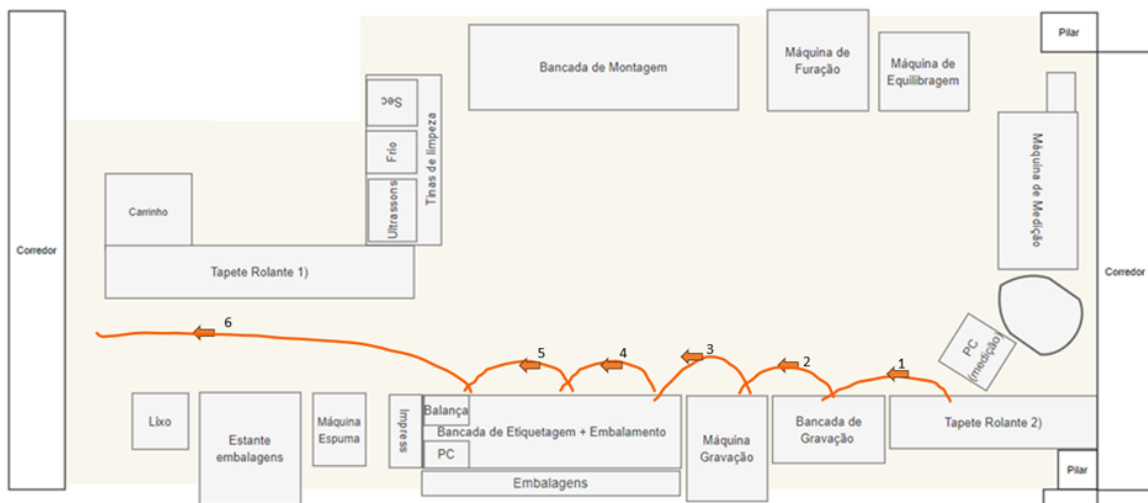


Figura 67 - Diagrama de spaghetti para a família E922 após implementação de melhorias.

Assim, verificou-se um fluxo de pessoas mais simples e com menos passos, o existente tinha seis movimentações sendo que o anterior tinha dez (Figura 22 da secção 4.2.3). Também não existe necessidade de o operador cruzar a célula para alcançar material auxiliar, nomeadamente papel e/ou álcool para limpeza, visto que estes materiais estão agora disponíveis também na bancada de embalagem e gravação.

No que concerne à família E993, o diagrama de *spaghetti* final encontra-se na Figura 74.

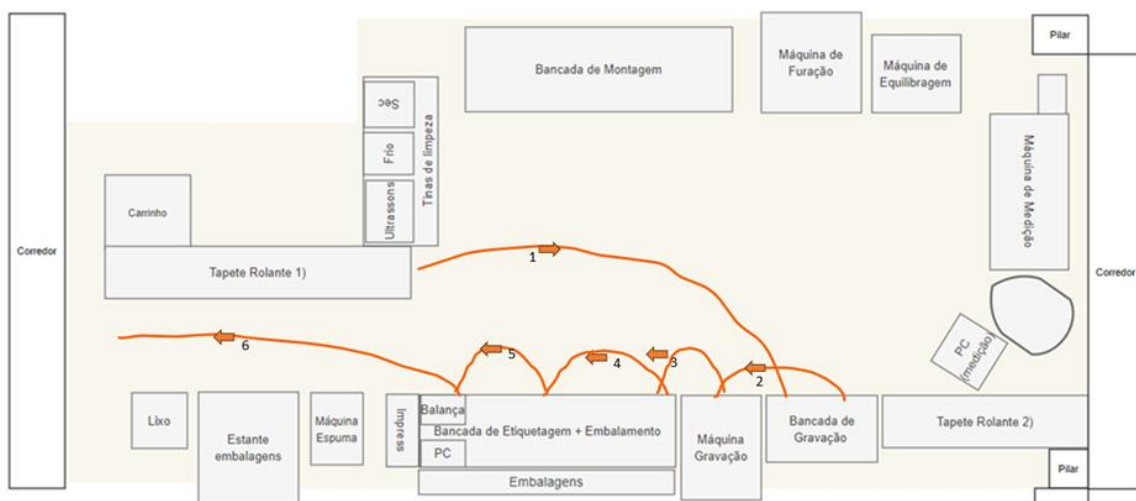


Figura 68 - Diagrama de spaghetti para a família E993 após implementação de melhorias.

Tal como para a família E922, para a família de produtos E993, o fluxo de pessoas tornou-se mais simples e direto, passando de onze (Figura 24 da secção 4.2.3) para seis movimentos. Adicionalmente, deixou de ser necessário o operador sair da célula para alcançar embalagens, estando estas, agora, colocadas quer na bancada de embalamento, quer na estante de embalamento.

Relativamente à família E991, o diagrama de *spaghetti* está ilustrado na Figura 69.

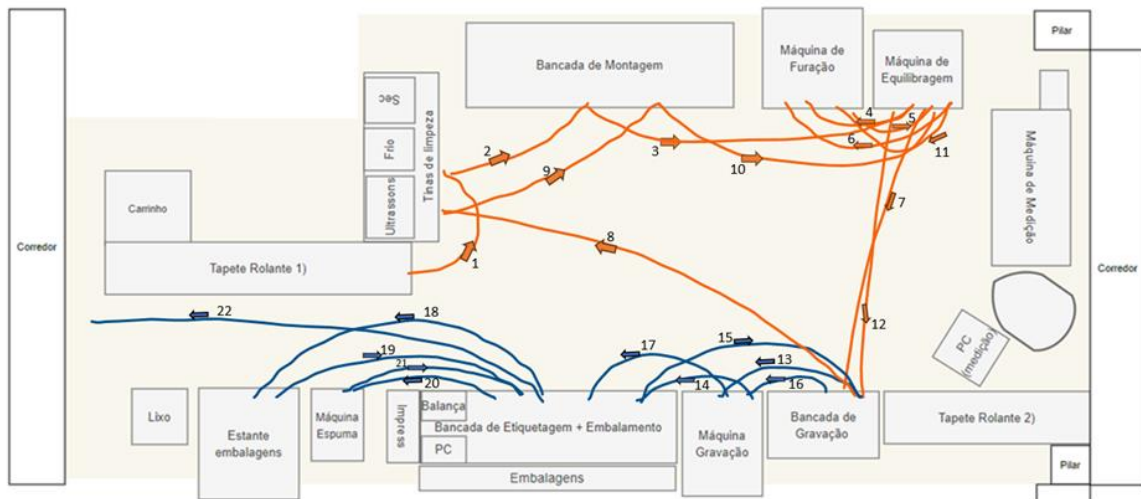


Figura 69 - Diagrama de spaghetti para a família E991 após implementação de melhorias.

De notar que, como indicado anteriormente na secção 5.1.4.3, os produtos da família E991 são manipulados pelos dois operadores: operador 1 na primeira fase (azul) e operador 2 na segunda fase (laranja).

A primeira diferença em relação ao fluxo de pessoas para o *layout* inicial (Figura 23 da secção 4.2.3) é que o nenhum operador cruza a célula ou se dirige a outra bancada/equipamento para alcance de material auxiliar.

A segunda diferença é que sendo aplicado o modo operatório e a sequência de operação já definida, após colocação das ferramentas para lavagem, o operador 1 manipula as ferramentas em *One-Piece-Flow*, não existindo a necessidade de constantemente voltar ao equipamento imediatamente atrás para alcance da ferramenta sobre a qual será realizada a operação.

Por fim, eliminadas as estantes de embalagens fora da célula e incorporada a estante de pernos e parafusos na bancada de montagem, eliminou-se a necessidade de o operador cruzar a célula para alcance de pernos e parafusos e de o operador sair da célula para alcance de material de embalamento, respetivamente. De notar que, tendo em conta que a referência da embalagem a usar para determinado

produto já vem incluída na BOM do mesmo, o operador, aquando do alcance da embalagem, já sabe qual a embalagem a buscar e não tem necessidade de voltar a dirigir-se à estante de embalamento para troca da referência, tal como acontecia anteriormente.

De modo a estimar os ganhos obtidos com esta nova configuração celular, no que à distância percorrida concerne, recorreu-se ao mesmo método utilizado anteriormente para cálculo das distâncias entre os equipamentos – método do centro de massa. A Tabela 32 resume as distâncias percorridas para o *layout* inicial e o final e evidencia as diferenças entre ambos. De notar que para o cálculo do tempo despendido, foi considerado que os operadores se movimentam a uma velocidade de 5km/h.

Tabela 32 - Diferença da distância percorrida entre *layout* inicial e final.

Família	Layout inicial		Layout final		Diferença/lote		Nr lotes/dia	Distância total/dia (m)		
	distância (m)	tempo (s)	distância (m)	tempo (s)	distância (m)	tempo (s)		Layout Inicial	Layout Final	Diferença (%)
E922	26	18,7	8,9	6,4	17,1	12,3	10	1067,9	520,7	51%
E993	38	27,1	14	9,8	24	17,3	11			
E991	66	47,2	47	33,9	19	13,3	6			

Pela análise da tabela anterior, verifica-se que existe uma redução considerável na distância percorrida para as famílias E922, E993 e E991 de cerca de 17, 24 e 19 metros, respetivamente, por cada lote de ferramentas montado. Considerando o número médio de lotes de cada família que são expedidos por dia, as diferenças, por cada dia de trabalho, ascendem aos 520 metros, verificando-se uma diferença de mais de 50% no que às distâncias percorridas concerne.

### 6.3.2 Implementação do sistema de abastecimento de materiais

Como explicado na secção 5.1.5.1, foi desenvolvido um sistema de abastecimento para os materiais tais como parafusos e parafusos. A implementação deste sistema permitiu eliminar por completo estas movimentações dos operadores da célula de montagem à logística para o alcance destes materiais. A Tabela 33 resume os resultados:

Tabela 33 - Ganho obtido com implementação de sistema de abastecimento à montagem.

Sem sistema de abastecimento		
Distância Montagem-Logística (m)	Frequência diária	Distância/dia (m)
65	6	390
Com sistema de abastecimento		
Distância Montagem-Logística (m)	Frequência diária	Distância/dia (m)
65	0	0
Diferença		
Distância (m)	390	
Percentual (%)	100%	

Como indicado pela tabela, por dia, em média, são realizadas cerca de seis viagens de ida e volta entre a Montagem e a Logística, culminado numa distância percorrida de 390 metros por dia que passou a zero metros com este sistema.

Contudo, além do tempo gasto em deslocações, os operadores da montagem, quando chegam ao armazém, têm de esperar que um elemento da logística fique livre para poder satisfazer o seu pedido. Assim, para além da deslocação em si, os operadores da montagem têm depois de esperar que o material lhes seja entregue, tempo este que, em média, é de cinco minutos.

Conjugados estes dados todos, é possível apurar a poupança gerado pela implementação deste sistema, ilustrada na Tabela 34:

*Tabela 34 - Poupança gerado pela implementação do sistema de abastecimento.*

Distância (km)	Velocidade média (km/h)	Tempo deslocação (h)	Tempo de espera/dia (h)	Custo (€/h)	Custo/dia (€)	Custo/ano (€)
0,39	5,00	0,078	0,5	11,1	6,4	1443,6

Em suma, com a implementação deste sistema poderia ser eliminada uma espera total de 30 minutos e um tempo de deslocação de quase cinco minutos por dia. No final do dia, isto reflete-se numa poupança de mais de seis euros e ao final do ano, assumindo 228 dias úteis de trabalho, a poupança gerada é de 1443,6 €.

#### 6.4 Redução de não-conformidades

Um dos objetivos inicialmente definidos foi a redução de não-conformidades, sendo que serão agora avaliados os resultados derivados das propostas de melhorias que visam mitigar este mesmo problema.

Ao longo do capítulo 5 foram abordadas várias propostas que direta ou indiretamente mitigam ou eliminam as ocorrências de não conformidades. Assim, a Tabela 35 ilustra as não-conformidades mais prementes mencionadas na secção 4.2.6 e as respetivas propostas de mitigação das mesmas:

*Tabela 35 - Resumo das propostas de mitigação das não-conformidades.*

<b>Não-conformidade</b>	<b>Proposta para mitigação/deteção</b>
Gravação incorreta	Gabaris para gravação Lista de tecnologias
Sujidade nas ferramentas	Sistema semi-automático para lavagem de ferramentas
Cortantes esmilhados/fissurados	Suportes para ferramentas em WIP Lupas Tampos das bancadas emborrachados
Furos de lubrificação obstruídos	Plano de formação
Montagem incorreta	Plano de formação

Tendo em conta que as propostas de melhoria que foram possíveis de implementar em tempo útil da escrita desta tese (todas exceto o sistema de lavagem de ferramentas) foram finalizadas até dezembro de 2023, não é possível ver os resultados dessas implementações. Deste modo, tentou-se apurar os ganhos destas propostas assumindo que as propostas de melhoria apresentadas terão a capacidade de eliminar por completo as ocorrências destas não-conformidades.

Para tal, visto que o horizonte temporal onde se recolheu os dados das não-conformidades era de 1 de setembro de 2022 a 9 de março de 2023, extrapolou-se o custo incorrido nesse horizonte para um ano. De seguida, calculou-se o custo total anual incorrido apurado na Tabela 36 .

*Tabela 36 - Estimativa dos custos totais anuais das não-conformidades.*

<b>Não-conformidade</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Custo total</b>	<b>Custo total anual</b>
Cortante esmilhado/danificado	28	1246,0 €	2406,3 €
Montagem incorreta	7	436,6 €	843,2 €
Sujidade nas ferramentas	6	56,1 €	108,2 €
Batimento radial fora de especificação	4	63,0 €	121,6 €
Furos de lubrificação obstruídos	4	48,2 €	93,1 €
Gravação incorreta	4	27,6 €	53,4 €
<b>Total</b>	<b>53</b>	<b>1877,5 €</b>	<b>3625,9 €</b>

Observando os dados da tabela acima, verifica-se que os custos totais anuais apenas para estas não-conformidades ultrapassam os 3600 €, pelo que uma eliminação na totalidade destas ocorrências, resultaria numa poupança na mesma ordem.

## 6.5 Melhoria das condições ergonómicas e de segurança

No que concerne às condições ergonómicas e de segurança, foram implementadas várias medidas na célula de montagem. Neste capítulo serão abordados os resultados produzidos por estas medidas.

### 6.5.1 Condições de segurança

No que concerne ao risco de queimadura identificado em 4.2.10, a adoção do sistema semi-automático para lavagem de ferramentas evita por completo o risco de queimadura, visto que a introdução da ferramenta nas tinas de limpeza não é realizada diretamente pelo operador.

De facto, este sistema ainda não foi implementado nem aprovado, visto haver dificuldade técnicas para adaptação do protótipo proposto à realidade física da empresa, nomeadamente, a dificuldade de integrar os eixos móveis nas tinas de limpeza já existentes.

Visto que o único dado que permite avaliar a eficácia destas medidas é o número de acidentes por queimaduras que ocorrem na célula de montagem, é de esperar que não ocorra mais nenhum acidente, desde que se implemente um sistema tendencialmente semelhante ao proposto.

#### 6.5.2 Condições ergonómicas

No que concerne às condições ergonómicas gerais da célula de montagem com a implementação das novas bancadas foi possível estudar previamente a altura das mesmas, tal como explícito na secção 5.1.2.2.

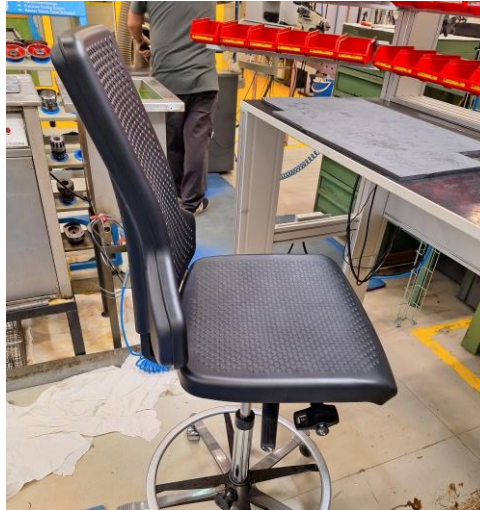
Este ajuste permitiu que os operadores trabalhassem de modo mais confortável, diminuindo a fadiga acumulada no final de um dia de trabalho.

Sendo a bancada de montagem ajustável em altura, e atendendo ao facto de se desempenharem tarefas na bancada que podem ser executadas em pé ou tarefas minuciosas que devem ser executadas enquanto sentado, esta flexibilidade permite que o operador, independentemente da sua altura ou tarefa a desempenhar, possa sempre trabalhar com uma altura de bancada que melhor se ajuste à sua estatura e tarefa. Em adição, o sistema de regulação da altura das bancadas permitia guardar até 3 posições pré-definidas, agilizando o ajuste – Figura 70.



*Figura 70 - Sistema de controlo de altura da bancada de montagem.*

Ademais, em conjunto com a bancada de montagem, foi adquirido um banco de trabalho ajustável e ergonómico. Este banco representa um incremento substancial no conforto do operador, visto que permite não só o ajuste em altura, como também possui encosto para a zona lombar – Figura 71.



*Figura 71 - Novo banco da célula de montagem.*

Por fim, como referido em 4.2.10, para montagem de determinadas peças, o operador era forçado a manusear a ferramenta no colo, representando um risco de corte, visto que se trata exatamente de uma ferramenta de corte. Para eliminar este risco, adquiriu-se um suporte que se aparafusa ao tampo da bancada e que segura a ferramenta a partir do cone, permitindo, também, que esta rode 90°, tal como ilustrado em Figura 72.



*Figura 72 - Suportes para manipulação de ferramentas.*

## 6.6 Síntese dos ganhos obtidos

Até então neste capítulo, foram apurados os vários ganhos obtidos através da implementação das propostas de melhoria. Nesse sentido, urge sintetizar os vários resultados e apurar um resultado geral final.



Em primeiro lugar, verificou-se uma redução de 23 % da área total ocupada pela montagem, passando de 41 m<sup>2</sup> para 32 m<sup>2</sup>.

Em segundo lugar, registou-se uma redução das atividades de valor não acrescentado, sendo que o tempo empregue na realização destas atividades foi de 408 segundos no total para as três famílias face aos 520 segundos registados antes de melhorias.

Em terceiro lugar, registou-se uma redução de mais de 50% na distância percorrida, no total das três famílias e, devido à implementação do sistema de abastecimento à montagem, evitou-se que os operadores percorressem 390 metros por dia, o que resulta em 1443,6 €.

Como consequência destes pontos supracitados, foi possível diminuir o tempo de montagem das famílias consideradas. Os ganhos anuais calculados, têm em conta a formação de famílias realizada na secção 5.1.1 (Tabela 37).

*Tabela 37 - Poupança consequente da redução do tempo de operação.*

		<b>E922</b>	<b>E993</b>	<b>E991</b>
Tempo de operação (s)	Antes	57	72,6	264
	Depois	41	60,4	223
	Diferença	16	12,2	41
Unidades produzidas por ano		20431	11752	4668
Custo (€/h-H)		11,1		
Poupança anual		1 008,0 €	442,0 €	590,0 €
Total		2 040,0 €		

Em quarto lugar, apurou-se que tendo em conta as propostas de melhoria, foi possível eliminar as não-conformidades mais impactantes imputadas à célula de montagem, obtendo-se um ganho de 3625,9€.

Em quinto lugar, foram desenvolvidos sistemas e equipamentos que permitem um melhor conforto e segurança ao operador enquanto este desempenha as suas funções.

No total, no que concerne às melhorias quantificáveis, serão poupados 7109,5€ por ano (Tabela 38) além de que as melhorias no conforto e segurança culminarão na redução do absentismo, aumento da motivação e em última instância, na proteção da integridade da vida humana.

*Tabela 38 - Tabela síntese dos ganhos obtidos.*

<b>Proposta</b>	<b>Poupança anual (€)</b>
Sistema de abastecimento	1 443,6 €
Redução do tempo de operação	2 040,0 €
Eliminação de não-conformidades	3 625,9 €
Total	7 109,5 €

## 7 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões tecidas nesta dissertação, bem como apresenta algumas propostas de trabalho futuro que não puderem ser concretizadas durante este projeto.

### 7.1 Considerações Finais

O projeto desenvolvido nesta dissertação foi o de reconfigurar uma célula de montagem numa indústria de ferramentas de corte. Os principais objetivos foram os de diminuir a área ocupada pela célula, reduzir o número de não-conformidades imputadas à célula, reduzir custos e simplificar o fluxo de materiais e de pessoas, entre outros.

Para o cumprimento destes objetivos, numa primeira fase foram identificadas e calculadas todas as perdas, desperdícios ou falhas no funcionamento da célula antes de qualquer proposta de melhoria. Para tal, foi investido tempo no chão-de-fábrica junto dos operadores de modo a observar as dificuldades que sentiam e para verificar diretamente as perdas e desperdícios em que se estavam a incorrer. Durante esta fase foram utilizadas ferramentas como o diagrama de *spaghetti*, diagrama de sequência-executante, diagrama de análise de processo e foi, ainda, realizado um estudo de tempos. De entre os vários problemas, destacaram-se a elevada distância percorrida, o número de não-conformidades e o tempo despendido em tarefas que não acrescentavam valor ao produto.

Posteriormente, foi seguida a metodologia de projeto e implantação de células de produção de Alves (2007) de modo a apresentar as propostas de melhoria para a célula. Numa primeira fase, foram formadas grandes famílias de produtos conforme o grau de semelhança entre elas e a sua representatividade no mix de produção. Posteriormente, foram instanciadas as máquinas e equipamentos necessários para a produção dessas famílias tendo-se eliminado equipamentos não necessários tais como as mesas de apoio. De seguida foram instanciados os postos de trabalho, sendo que se teve em conta não o volume médio de carga que a célula de montagem registou durante os sete primeiros meses do ano, mas foram considerados os picos de WIP e o objetivo de se produzir ferramentas no valor de 60.000 € por dia.

De modo a ser possível reduzir as deslocações que os operadores realizavam quer dentro da célula, quer para fora da célula, foi realizado um estudo de *layouts*, tendo-se recorrido ao método CORELAP para tal. No final, foi possível reduzir a área ocupada pela célula dos 41m<sup>2</sup> para os 32 m<sup>2</sup>, culminado numa redução de 23%, permitindo, também, que as deslocações dos operadores para a montagem de um produto, de forma, geral, fossem reduzidas em 51%. Esta diminuição também só foi possível com a

mudança no método e organização do trabalho na célula, nomeadamente, com a implementação de um novo modo operatório que simplificou o fluxo de materiais e de pessoas. Em adição à mudança de *layout* e à implementação de *Working Balance*, o desenvolvimento de um sistema de abastecimento de materiais à célula eliminou as deslocações que os operadores faziam para alcançar material, representando uma poupança anual de 1443,6 €.

A eliminação do número e do tempo despendido em tarefas de valor não acrescentado, permitiu reduzir o tempo de operação das famílias E922, E993 e E991 em 25%, 17% e 16%, respetivamente, culminado numa poupança anual de 2040 €.

Ademais, foram utilizadas técnicas de 5S e de gestão visual de modo não só eliminar o material não necessário, bem como identificar e quantificar o necessário, tornando a sua busca mais fácil.

Por fim, tratando-se o posto de trabalho de uma célula que manipula um elevado número de materiais diferentes, é essencial que o operador sejam o mais polivalente possíveis, tendo sido elaborado um plano de formação para tal que vise colmatar falhas de conhecimento identificadas através da matriz de competências e dotar os operadores de técnicas que previnam e/ou detetem não-conformidades.

Em suma, os ganhos obtidos pela implementação das propostas de melhoria ascendem aos 7109 €.

Destaque-se, ainda, algumas melhorias que não se traduzem diretamente em resultados palpáveis, mas de igual modo importantes: a incorporação da referência de embalagens na BOM do produto, referência essa que é obtido através de um algoritmo em VBA elaborado pelo autor da dissertação e a melhoria das condições de segurança e de conforto coma adoção de bancadas de trabalho mais ergonómicas e sistemas de segurança.

Concluindo, face aos objetivos inicialmente tecidos, foram alcançados os seguintes:

- aumento da flexibilidade do sistema;
- redução do número de não-conformidades;
- redução do *lead time*;
- simplificação do fluxo de materiais e pessoas;
- redução da área da célula;
- aumento da produtividade;
- redução de custos;
- melhoria das condições de segurança e ergonómicas.

Numa outra vertente, importa destacar algumas dificuldades sentidas ao longo do projeto. Em primeiro lugar, a FMT apresenta um produto muito diversificado com mais de 50 famílias de produtos, sendo que cada uma tem as suas especificações e implica a realização de determinadas operações. Ou seja, numa fase inicial, o desafio foi o de conseguir perceber, do melhor modo possível, as características de cada ferramenta. Derivado do ponto anterior, para qualquer mudança de equipamentos ou método de trabalho teve de se considerar este vasto número de produtos, sob pena de se estar a melhorar um processo de fabrico e a piorar outro.

Em segundo lugar, aquando de qualquer proposta de melhoria preliminar ou apenas debate de ideias, tive o cuidado de apresentar os meus argumentos de forma estruturada e simples, visto que, numa fase inicial, quando não o fazia, o resultado da discussão era sempre negativo, devido à natural resistência à mudança por partes dos operadores. Também aprendi que estabelecer uma relação próxima, profissional e saudável com os operadores era uma sólida base para qualquer discussão e implementação de melhorias. Por fim, *a priori* de apresentar qualquer proposta, percebi que deveria recolher dados e evidências que mostrassem, indubitavelmente, os benefícios da proposta para o operador, quer numa vertente de conforto e segurança, quer numa vertente de facilitar e simplificar as suas tarefas, sob pena de essa proposta não ser bem acolhida.

Em terceiro lugar, friso o desafio que foi o de me adaptar à rotina da empresa e às exigências que naturalmente se requerem a um jovem engenheiro.

## 7.2 Trabalho futuro

A filosofia *kaizen* pressupõe uma melhoria contínua e o buscar pela excelência. Este é um dos motes pelo qual todas as organizações devem atuar. Apesar de terem sido alcançados resultados significativos, existe margem para testar e implementar novas ideias que não foram possíveis de estudar durante o tempo útil deste projeto. Como tal, existe margem de melhoria no que ao funcionamento da célula de montagem concerne e ao funcionamento da FMT como um todo.

Assim, dividiu-se as propostas de trabalho futuro em dois aspetos, as propostas relativas à célula de montagem em particular e às relativas a toda a fabrico em geral.

Em primeiro lugar, no que concerne à célula de montagem, existe margem de melhoria no que concerne à digitalização e automatização de processos. Nomeadamente em relação a tarefas de preparação do programa quer de equilibragem, quer de gravação. De facto, os dados que o operador tem de inserir podem ser retirados diretamente o ERP da empresa, eliminando-se, assim, uma tarefa manual,

diminuindo-se o tempo de operação e a margem de erro. Deste modo, a inserção manual de dados podia ser substituída pelo *scan* do código de barras relativo ao produto.

Ainda relativamente à célula podem ser implementadas luzes *andon* na estante de pernos e parafusos, sendo que o operador, após realizar o *scan* do código de barras do produto, recolhia o material onde uma luz verde se acendesse, diminuindo o tempo de procura pelo material e atuando também como um mecanismo *Poke-Yoka*, na medida em que as luzes só se apagariam quando o operador alcançasse todo o material necessário para a montagem da ferramenta, prevenindo *a posteriori* não conformidades relativas a “montagem incorreta” por falta de componentes

Em segundo lugar, existem dois tópicos que não são da responsabilidade da célula de montagem, mas que influenciam diretamente o seu funcionamento: o inconstante fluxo de carga durante o ano e a desequilibragem das ferramentas de aço.

O fluxo de carga inconstante deve-se ao facto de a FMT trabalhar sob uma filosofia de *engineering-to-order*, ou seja, os produtos manufacturados são desenhados e projetados de propósito para determinado cliente e para determinada aplicação. Como consequência a FMT está sujeita às flutuações de projetos que provenientes de empresas que fornecem a indústria automóvel e aos ciclos de procura e oferta dessa indústria, sendo, por isso, o seu fluxo de produção muito volátil e variável. Este facto obriga a sobredimensionar os recursos da célula de montagem e a prepará-la para os picos de carga.

Já os desequilíbrios das ferramentas obrigam a ciclos sucessivos de equilibragem e furação/introdução de pernos para ajuste do centro de massa. De notar que é suposto que a montagem faça esta tarefa com a frequência que se verifica atualmente, visto que as ferramentas são projetadas com um centro de massa perfeitamente centrado, na teoria.

Assim, estes dois problemas devem ser endereçados o mais rapidamente, para que o fluxo de matérias na célula seja mais fluído e constante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A. (2007). *Projecto dinâmico de sistemas de produção orientados ao produto* [Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas.]. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7606>
- Alves, A., & Abreu, F. (2020). *Slides sobre Estudo de Implantações Industriais*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas.
- Alves, A. C. (2018). U-Shaped Cells Operating Modes: a Review and a Hands-on Simulation Comparison. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJEM)*.
- Alves, A. C., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, R. M. (2012). Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility. *Learning Organization*, 19(3), 219–237. <https://doi.org/10.1108/09696471211219930>
- Alves, A. C., Flumerfelt, S., & Kahlen, F.-J. (2017). *Lean Education: An Overview of Current Issues*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-45830-4>.
- Alves, A. C., Sousa, R. M., & Dinis-Carvalho, J. (2015). Redesign of the production system: A hard decision-making process. *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1128–1132. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2015.7385824>
- Alves, A., & Oliveira, A. R. (2009). Operating modes in manufacturing cells: an action research study. , *Edited by S. Gen, M., Suer, G. A., Hwang, H., Kim, K. H., Ohno, K. and Fujimara*, 107–15. *Kitakyushu*.
- Alves, A., Sousa, R., Dinis-Carvalho, J., & Moreira, F. (2015). Production systems redesign in a lean context: A matter of sustainability. *FME Transaction*, 43(4), 344–352. <https://doi.org/10.5937/fmet1504344A>
- Amaro, P., Alves, A. C., & Sousa, R. M. (2020). Lean Thinking: From the Shop Floor to an Organizational Culture. *In Advances in Production Management Systems Towards Smart and Digital Manufacturing IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020 Novi Sad, Serbia, August 30 – September 3, 2020 Proceedings, Part II.*, 406–414. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5\\_47](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_47).

- Arezes, P. M., Dinis-Carvalho, J., & Alves, A. C. (2015). Workplace ergonomics in lean production environments: A literature review. *Work*, *52*(1), 57–70. <https://doi.org/10.3233/WOR-141941>
- Arunagiri, P., & Gnanavelbabu, A. (2014). Identification of Major Lean Production Waste in Automobile Industries using Weighted Average Method. *Procedia Engineering*, *97*, 2167–2175. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.460>
- Baker, K. B. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons.
- Barroso, M. P., Arezes, P. M., da Costa, L. G., & Sérgio Miguel, A. (2005). Anthropometric study of Portuguese workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *35*(5), 401–410. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.10.005>
- Bastos, N. M., Alves, A. C., Castro, F. X., Duarte, J., Ferreira, L. P., & Silva, F. J. G. (2021). Reconfiguration of assembly lines using Lean Thinking in an electronics components' manufacturer for the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, *55*, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.053>
- Carmo-Silva, S., Alves, A. C., & Moreira, F. (2006). Linking production paradigms and organizational approaches to production systems. In *Intelligent Production Machines and Systems* (pp. 511–516). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045157-2/50090-0>
- Chakroun, A., Zribi, H., Hani, Y., Elmhamedi, A., & Masmoudi, F. (2022). Facility Layout Design through Integration of Lean Manufacturing in Industry 4.0 context. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(10), 798–803. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.507>
- Costa, L. (2019). *Slides sobre Estatística Aplicada*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas.
- Euclides A., C. (2009). *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.
- Hari Prasad, N., Rajyalakshmi, G., & Sreenivasulu Reddy, A. (2014). A typical manufacturing plant layout design using CRAFT algorithm. *Procedia Engineering*, *97*, 1808–1814. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.334>
- Hicks, B. J. (2007). Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, *27*(4), 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2006.12.001>

- Hines, P., Holwe, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations and Production Management*, 24(10), 994–1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Hitomi, K. (1996). *Manufacturing Systems Engineering A unified approach to manufacturing technology, production management, and industrial economics* (2nd ed.).
- Hollnagel, E. (2016). *Barriers and Accident Prevention*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315261737>
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- Imai, M. (2012). *emba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy* (2nd ed.).
- Krafcik, J. (1988). *Triumph of the Lean Production System* (Sloan Management Review 30 (1): 41–52.).
- Kulkarni, S. D., Deshmukh, S. G., Khanzode, V. V., & Alves, A. C. (2021). Unifying Efforts to Rebound Operational Excellence and Export Competitiveness. *International Journal of Global Business and Competitiveness*, 16(S1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42943-021-00043-7>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*.
- Liker, J. K., & Meier, D. P. (2007). *Toyota Talent: Developing Your People the Toyota Way*.
- Miltenburg, J. (2001). U-shaped production lines: A review of theory and practice. In *Int. J. Production Economics* (Vol. 70).
- Mohr, D., Müller, N., Krieg, A., Gao, P., Kaas, H.-W., Krieger, A., & Hensley, R. (2013). *The road to 2020 and beyond: What's driving the global automotive industry?*
- Monden, Y. (1994). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9714-8>
- Muotka, S., Togiani, A., & Varis, J. (2023). A Design Thinking Approach: Applying 5S Methodology Effectively in an Industrial Work Environment. *Procedia CIRP*, 119, 363–370. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.103>
- Muther, R. (2015). *Systematic Layout Planning*.
- O'Brien, R. (1998). *An Overview of the Methodological Approach of Action Research*.



- OECD. (2007). *Moving Up the Value Chain: Staying Competitive in the Global Economy*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.  
<https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Parry, G. C., & Turner, C. E. (2006). Application of lean visual process management tools. *Production Planning and Control*, 17(1), 77–86. <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>
- PMI. (2017). *Agile Practice Guide* (Project Management Institute, Ed.; First Edit). Project Management Institute, Inc.
- Rajab, S., Afy-Shararah, M., & Salonitis, K. (2022). Using Industry 4.0 Capabilities for Identifying and Eliminating Lean Wastes. *Procedia CIRP*, 107, 21–27.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.004>
- Sekine Kenichi. (2005). *One-Piece Flow: Cell Design for Transforming the Production Process*.
- Sembiring, A. C., Budiman, I., Mardhatillah, A., Tarigan, U. P., & Jawira, A. (2018). An application of corelap algorithm to improve the utilization space of the classroom. *Journal of Physics: Conference Series*, 1007(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1007/1/012026>
- Shingo, S. (1989). *A study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint*.
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management* (6th ed.).
- Somekh, B., & Zeichner, K. (2009). Action research for educational reform: Remodelling action research theories and practices in local contexts. *Educational Action Research*, 17(1), 5–21.  
<https://doi.org/10.1080/09650790802667402>
- Sousa, M. C. A. C. P. (2021). *Slides de Ergonomia e Fatores Humanos*. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas.
- Susman, G. I., & Evered, R. D. (1978). An Assessment of the Scientific Merits of Action Research. *Administrative Science Quarterly*, 23(4), 582. <https://doi.org/10.2307/2392581>
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 766–799.  
<https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill Professional.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking - Banish waste and create wealth in your corporation*. Free Press.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 – Diagramas de Análise de Processo das famílias E922, E993 e E991

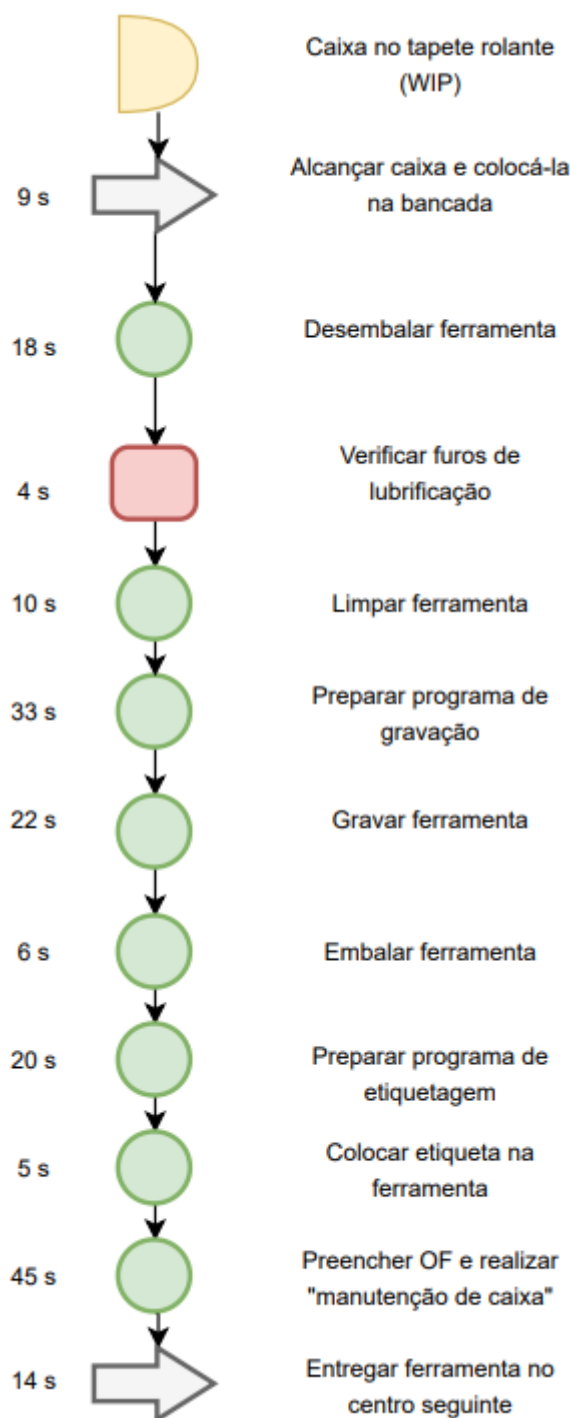


Figura 73 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E922.

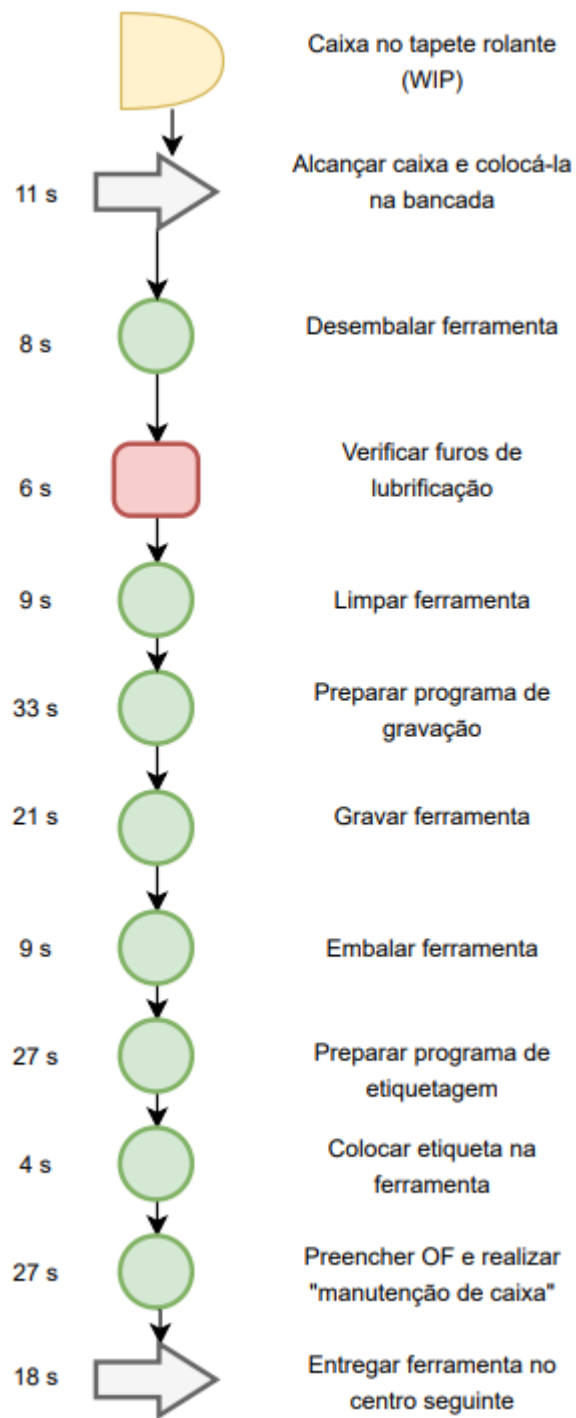


Figura 74 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E993.

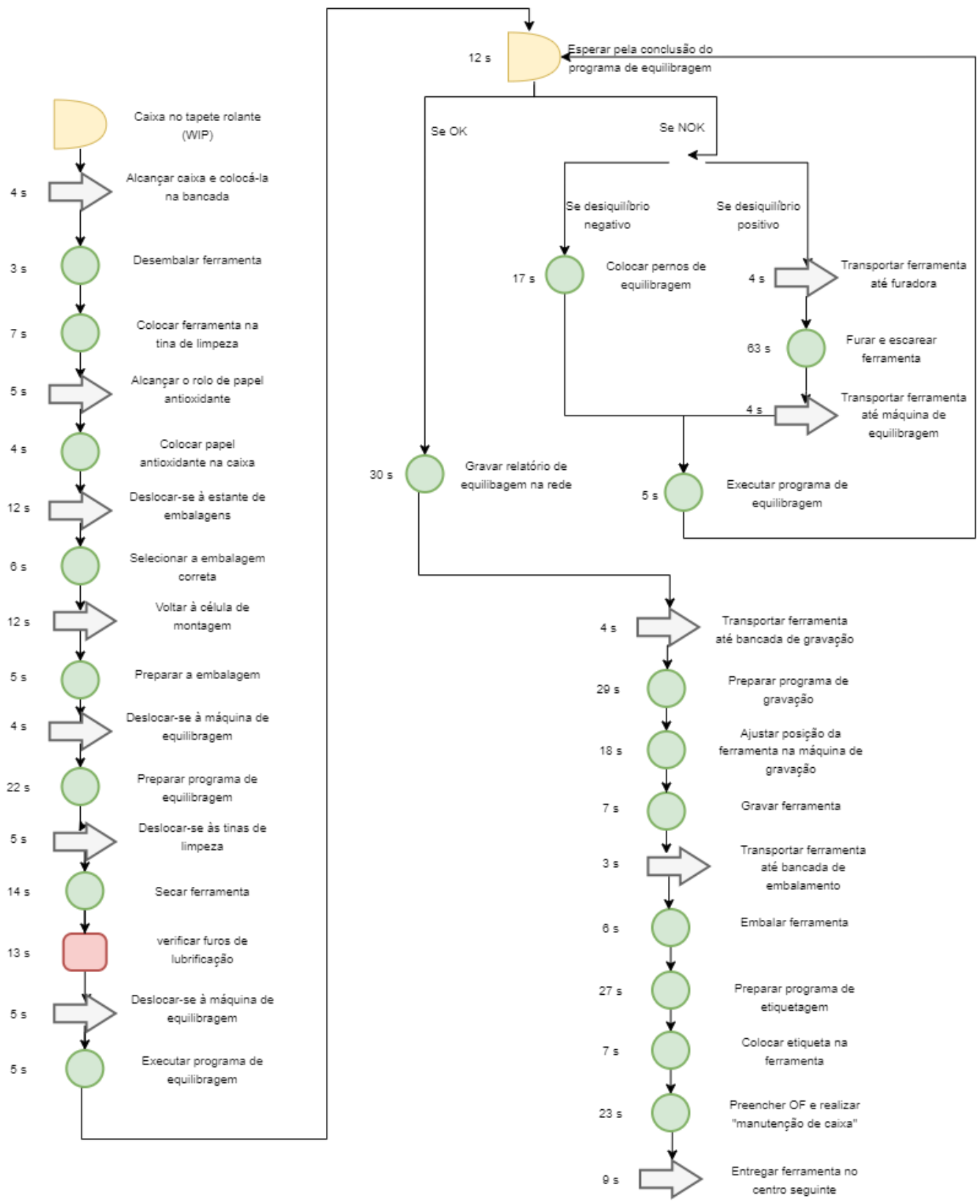


Figura 75 - Diagrama de análise de processo das ferramentas da família E991.

Apêndice 2 – Coordenadas e distâncias euclidianas entre os centros de massa de cada equipamento da célula da montagem

Tabela 39 - Coordenadas e distâncias euclidianas entre os centros de massa de cada equipamento da célula da montagem.

Nr	Equipamento/máquina	Nr		Coordenadas (x,y)																			
		Coordenadas (x,y)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		347	213	254	302	625	506	522	580	553	522	775	861	702	808	808	688	160	160	416	0	285	
1	Tina de lavagem	347	213	0	146	257	376	159	308	233	206	308	571	726	355	472	494	425	283	333	262	388	222
2	Tapete rolante 1)	354	100	113	100	149	305	192	219	254	231	219	497	646	368	454	459	362	218	253	153	359	121
3	Tapete rolante 2)	0	302	358	325	456	712	513	624	586	559	624	905	1051	707	830	851	768	342	398	539	262	415
4	Bancada trabalho gravação	625	0	350	384	325	40	247	110	222	229	110	223	382	233	214	186	75	465	469	213	626	340
5	Bancada trabalho montagem	506	217	159	278	328	283	0	257	74	47	257	467	627	196	320	353	315	408	444	272	536	310
6	Bancada trabalho embalagem	522	0	276	286	224	110	218	40	225	219	40	302	453	284	307	288	171	362	367	113	524	237
7	Máquina espuma	580	217	233	346	379	261	74	263	0	27	263	429	588	122	251	292	279	473	504	305	606	366
8	Embalagens 1)	553	217	206	321	359	267	47	259	27	0	259	442	602	149	276	313	290	449	482	291	581	345
9	Embalagens 2)	522	0	276	286	224	110	218	40	225	219	40	302	453	284	307	288	171	362	367	113	524	237
10	Embalagens 3)	775	-165	571	585	489	195	467	282	429	442	282	0	160	392	278	203	152	637	624	380	802	517
11	Embalagens 4)	861	-300	726	727	617	351	627	427	588	602	427	160	0	544	414	339	312	762	740	515	926	649
12	Máquina de medição	702	220	355	464	477	271	196	316	122	149	316	392	544	0	152	213	260	585	611	387	725	471
13	Máquina de equilibragem	808	111	472	554	528	237	320	323	251	276	323	278	414	152	0	76	193	657	671	420	811	535
14	Máquina de furação	808	35	494	558	512	198	353	296	292	313	296	203	339	213	76	0	142	649	655	399	808	524
15	Máquina de gravação	688	0	402	445	388	75	283	171	242	256	171	187	346	220	163	125	40	528	532	275	689	403
16	Estante kanban	160	0	283	137	148	467	408	364	473	449	364	637	762	585	657	649	530	0	62	259	165	125
17	Estante kanban (verso)	160	-61.5	332	187	144	465	444	363	504	482	363	624	740	611	671	655	528	62	1	257	189	139
18	Balança	416	0	224	190	121	213	235	113	272	257	113	395	537	361	407	394	275	256	263	40	418	131
19	Saldia caixa	0	40	388	261	312	630	536	528	606	581	528	802	926	725	811	808	693	165	190	424	0	288
20	Ponto intermédio	285	0	222	105	43	342	310	240	366	345	240	517	649	471	535	524	405	125	140	137	288	0

### Apêndice 3 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993

Tabela 40 - Diagrama de sequência-executante da família E922.

Família E922								
Nr	Tarefa	Tempo (s)	Tipo de Atividade					
			Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazename nto
			VA	NVA				
1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	7			X			
2	Transportar caixa até à bancada de trabalho	2			X			
3	Retirar ferramentas da embalagem provisória	18		X				
4	Colocar embalagem usada no contentor	5		X				
5	Inspeccionar furos de lubrificação da ferramenta 1 a 15 c/ ar comprimido	61.5				X		
6	Limpar ferramenta 1 a 15 com papel e álcool	144	X					
7	Deslocar-se até ao PC de apoio à gravação	4			X			
8	Preparar programa de gravação	33		X				
9	Ajustar posição do suporte e do feixe laser	22		X				
10	Colocar 5 ferramentas no suporte de gravação	4		X				
11	Gravar ferramenta 1 a 5	110	X					
12	Retirar ferramentas do suporte de gravação	6		X				
13	Colocar 4 ferramentas no suporte de gravação	7		X				
14	Gravar ferramenta 6 a 9	44	X					

15	Retirar ferramentas do suporte de gravação	13		X				
16	Colocar 4 ferramentas no suporte de gravação	15		X				
17	Gravar ferramenta 10 a 13	55	X					
18	Retirar ferramentas do suporte de gravação	5		X				
19	Colocar 2 ferramentas no suporte de gravação	4		X				
20	Gravar ferramenta 14 e 15	24	X					
21	Alcançar covete c/ carapuças	2			X			
23	Colocar carapuça nas ferramentas 1 a 15	32	X					
24	Alcançar covete c/ embalagens	3			X			
25	Trocar de embalagens (devolver anteriores e buscar nova referência)	10		X				
26	Embalar ferramentas 1 a 15	49	X					
27	Deslocar-se até PC de etiquetagem	2			X			
28	Preparar programa de etiquetas	20		X				
29	Impressão das etiquetas	7					X	
30	Etiquetar ferramentas 1 a 15	70	X					
31	Assinar e preencher OF	40		X				
32	Deslocar-se até ao tapete para alcançar a caixa	3			X			
33	Deslocar-se até à bancada de trabalho	5			X			
34	Colocar ferramentas na caixa			X				
35	Realizar manutenção de caixa	7		X				
35	Transportar caixa até ao centro de trabalho seguinte	14			X			



Tabela 41 - Diagrama de sequência-executante da família E991.

Família E991								
Nr	Tarefa	Tempo (s)	Tipo de Atividade					
			Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazenamento
			VA	NVA				
1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	4			X			
2	Desembalar ferramenta 1	3		X				
3	Colocar ferramenta 1 na tina de água	7	X					
4	Desembalar ferramenta 2	3		X				
5	Colocar ferramenta 2 na tina de água	6	X					
6	Deslocar-se à bancada de gravação	3			X			
7	Alcançar papel antioxidante	2		X				
8	Deslocar-se até bancada de montagem	3			X			
9	Colocar papel antioxidante na caixa	1	X					
10	Deslocar-se à estante de embalagens	12			X			
11	Alcançar embalagens pretendidas	6		X				
12	Deslocar-se para a célula de Montagem	12			X			
13	Preparar embalagens	10		X				
14	Deslocar-se até máquina de equilibragem	4			X			
15	Preparar programa de equilibragem	22		X				
16	Movimentar-se até tinas de água	5			X			
17	Secar ferramenta 1	13		X				

18	Verificar furos de lubrificação da ferramenta 2	12				X		
19	Secar ferramenta 2	16		X				
20	Verificar furos de lubrificação da ferramenta 2	15				X		
21	Transportar ferramenta 1 até máquina de equilibragem	5			X			
22	Colocar programa de equilibragem em execução	5	X					
23	Esperar pelo fim do programa	12					X	
24	Colocar perno de equilibragem	13	X					
25	Colocar programa de equilibragem em execução	3	X					
26	Esperar pelo fim do programa	12					X	
27	Gravar relatório equilibragem na rede	30	X					
28	Levar ferramenta 1 até bancada Montagem	4			X			
29	Levar ferramenta 2 até máquina de equilibragem	4			X			
30	Colocar programa de equilibragem em execução	4	X					
31	Esperar pelo fim do programa	12					X	
32	Colocar perno de equilibragem	22	X					
33	Esperar pelo fim do programa	12					X	
34	Gravar relatório equilibragem na rede	37	X					
35	Levar ferramenta 2 até à bancada de Montagem	4			X			
36	Máquina de gravação ocupada	24					X	
37	Preparar programa de gravação	29		X				

38	Movimentar-se até bancada de montagem	3			X			
39	Levar ferramenta 1 até cabine de gravação	3			X			
40	Colocar ferramenta 1 no suporte e ajustar	10		X				
41	Ajustar altura da máquina de gravação	8		X				
42	Executar programa de gravação	2	X					
43	Esperar pelo fim do programa de gravação	5					X	
44	Levar ferramenta 1 até bancada de montagem	3			X			
45	Levar ferramenta 2 até cabine de gravação	3			X			
46	Esperar pelo fim do programa de gravação	5					X	
47	Levar ferramenta 2 até à bancada de montagem	3			X			
48	Emballar ferramenta 1	7	X					
49	Emballar ferramenta 2	5	X					
50	Preencher OF	13		X				
51	Levar ambas as ferramentas até bancada de etiquetagem	7			X			
52	Preparar programa de etiquetagem	27		X				
53	Etiquetar ferramenta 1	8	X					
54	Etiquetar ferramenta 2	6	X					
55	Levar ferramenta até bancada de montagem	7			X			
56	Colocar ferramentas e OF na Caixa	2		X				

57	Entregar ferramenta na Inspeção Final	9			X			
----	---------------------------------------	---	--	--	---	--	--	--

Tabela 42 - Diagrama de sequência-executante da família E993.

Família E993								
Nr	Tarefa	Tempo (s)	Tipo de Atividade					
			Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazenamento
			VA	NVA				
1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	5			X			
2	Transportar caixa até à bancada de trabalho	6			X			
3	Retirar ferramentas da embalagem provisória	6		X				
4	Colocar embalagem usada no contentor	2		X				
5	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 1 c/ ar comprimido	6				X		
6	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 2 c/ ar comprimido	6				X		
7	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 3 c/ ar comprimido	4				X		
8	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 4 c/ ar comprimido	4				X		
9	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 5 c/ ar comprimido	6				X		
10	Limpar ferramenta 1 com papel e álcool	9	X					
11	Limpar ferramenta 2 com papel e álcool	6	X					
12	Limpar ferramenta 3 com papel e álcool	7	X					
13	Limpar ferramenta 4 com papel e álcool	6	X					
14	Limpar ferramenta 5 com papel e álcool	6	X					
15	Preparar programa de gravação	33		X				

16	Ajustar posição do suporte e do feixe laser	37		X				
17	Colocar as 5 ferramentas no suporte de gravação	10		X				
18	Gravar ferramenta 1	12	X					
19	Gravar ferramenta 2	13	X					
20	Gravar ferramenta 3	15	X					
21	Gravar ferramenta 4	7	X					
22	Gravar ferramenta 5	15	X					
23	Alcançar embalagens	4		X				
24	Embalar ferramenta 1	5	X					
25	Embalar ferramenta 2	8	X					
26	Embalar ferramenta 3	9	X					
27	Embalar ferramenta 4	12	X					
28	Embalar ferramenta 5	11	X					
29	Deslocar-se até PC de etiquetagem	2			X			
30	Preparar programa de etiquetas	23		X				
31	Aguardar pela impressão das etiquetas	2				X		
32	Etiquetar ferramenta 1	3	X					
33	Etiquetar ferramenta 2	3	X					
34	Etiquetar ferramenta 3	2	X					
35	Etiquetar ferramenta 4	5	X					
36	Etiquetar ferramenta 5	4	X					
37	Assinar e preencher OF	19		X				
38	Deslocar-se até ao tapete para alcançar a caixa	4			X			
39	Deslocar-se até à bancada de trabalho	4			X			
40	Colocar ferramentas na caixa	3		X				
41	Realizar manutenção de caixa	8		X				

42	Transportar caixa até ao centro de trabalho seguinte e voltar	11			X			
----	---	----	--	--	---	--	--	--

## Apêndice 4 – Diagramas de Ishikawa para as não-conformidades

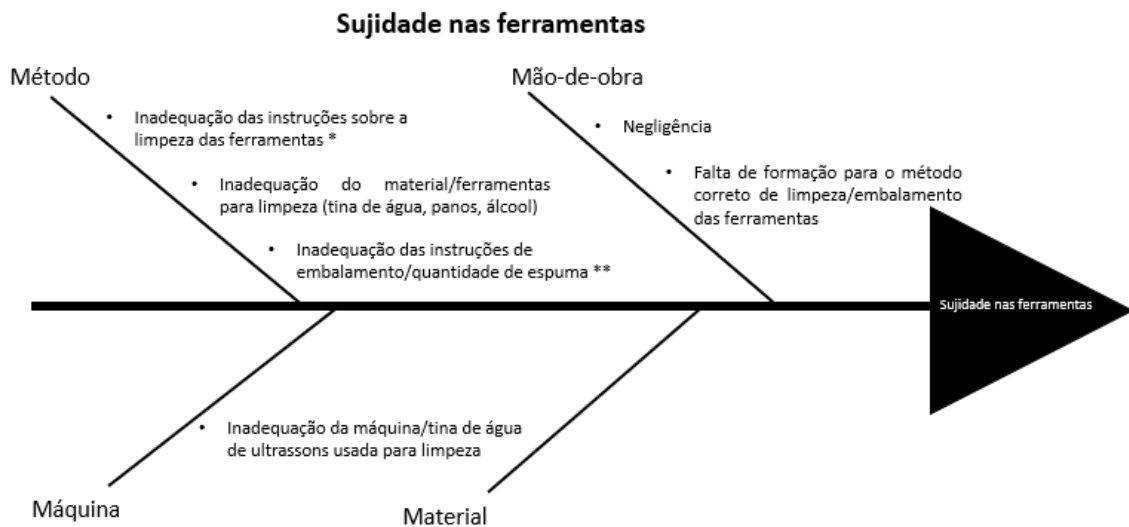


Figura 76 - Diagrama de Ishikawa para "Sujidade nas ferramentas".

### Cortante esmilhado/danificado:

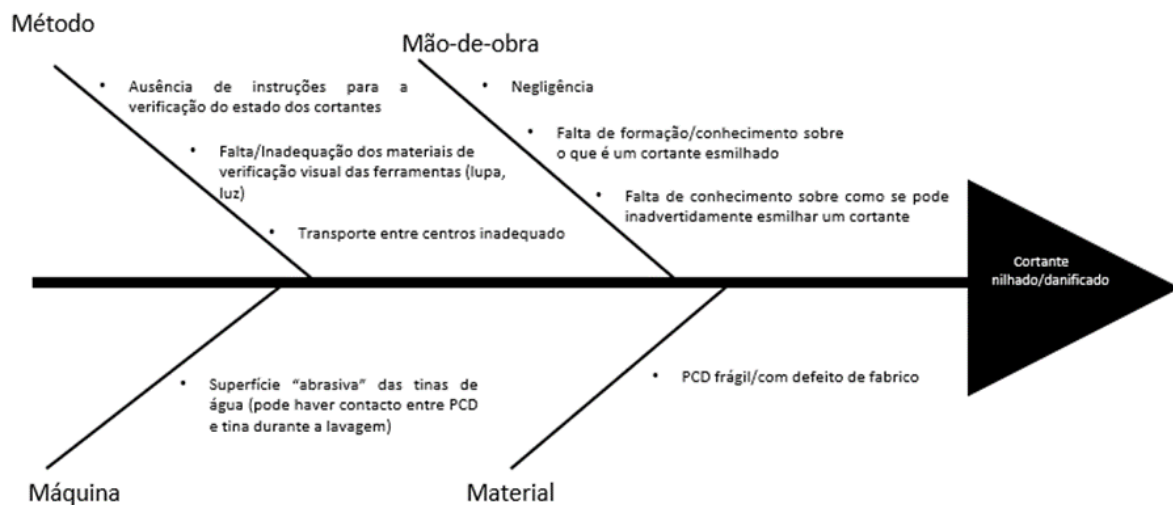


Figura 77 - Diagrama de Ishikawa para "Cortante esmilhado/fissurado".

### Furos de lubrificação obstruídos

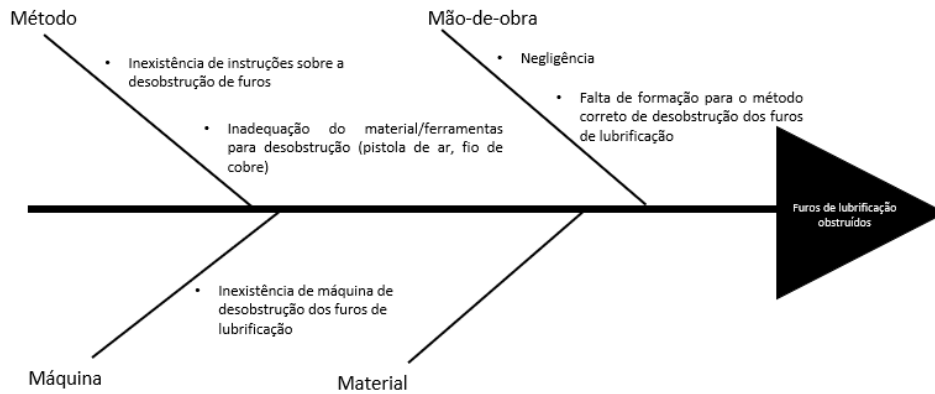


Figura 78 - Diagrama de Ishikawa para "Furos de lubrificação obstruídos".

### Montagem incorreta

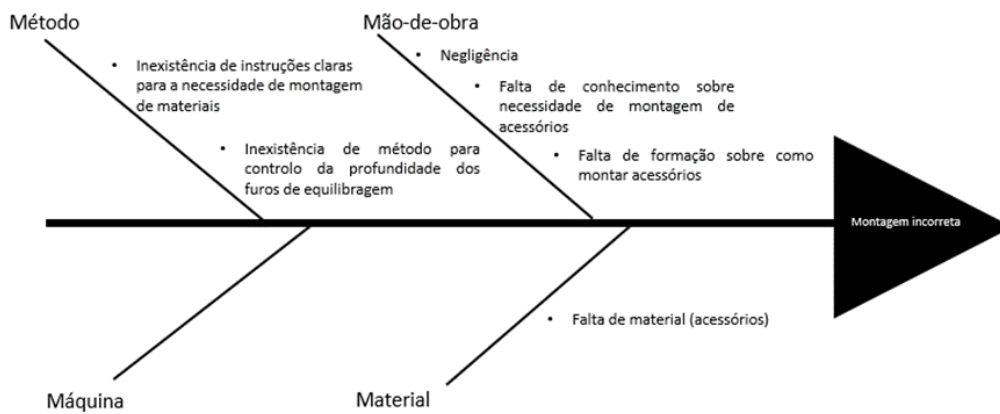


Figura 79 - Diagrama de Ishikawa para "Montagem incorreta".

### Gravação incorreta

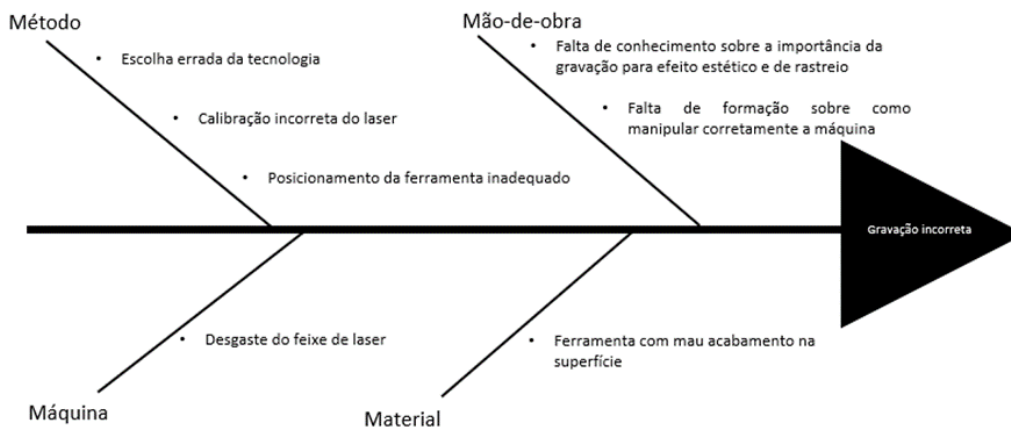


Figura 80 - Diagrama de Ishikawa para "Gravação incorreta".



## Apêndice 5 – Consumo médio diário de embalagens nos primeiros sete meses de 2023

Tabela 43 - Consumo médio diário de embalagens.

Referência	Consumo/dia (uni)	Referência	Consumo/dia (uni)	Referência	Consumo/dia (uni)
EM04.17	5	EM50.177	1	EM62.04	1
EM04.18	5	EM50.70	1	EM62.05	5
EM04.19	2	EM58.01	1	EM62.06	3
EM116.01	1	EM60.18	1	EM62.09	1
EM120.02	28	EM60.35	10	EM62.10	4
EM120.03	41	EM60.36	1	EM62.12	9
EM120.05	33	EM60.43	15	EM62.13	6
EM120.06	17	EM60.44	1	EM64.05	7
EM120.07	12	EM60.45	5	EM64.08	2
EM120.08	11	EM60.46	8	EM64.09	10
EM120.09	5	EM60.48	2	EM64.10	8
EM120.10	5	EM60.49	2	EM66.01	9
EM120.12	4	EM60.51	1	EM67.01	6
EM120.13	3	EM60.52	2	EM67.03	12
EM15.02	1	EM60.53	1	EM67.05	2
EM20.02.1	1	EM60.55	4	EM83	1
EM22.01	1	EM61.05	1	EM83.03	1
EM23.06	3	EM61.30	40	EM83.04	1
EM23.07	2	EM61.31	21	EM83.05	1
EM29.01	17	EM61.32	19	EM83.06	1
EM29.03	43	EM61.33	7	EM83.07	1
EM29.04	13	EM61.34	34	EM83.08	1
EM34.01	1	EM61.35	39	EM83.09	1
EM44.03	1	EM61.36	12	EM83.10	1
EM50.141	1	EM61.37	21	EM83.13	1

EM50.143	1	EM61.38	24	EM84.04	45
EM50.147	1	EM61.39	9	EM84.05	9
EM50.149	1	EM61.40	6	EM84.07	2
EM50.150	1	EM61.41	8	EM84.09	5
EM50.166	1	EM61.42	17	EM84.10	5
EM50.171	1	EM61.44	1	EM84.14	9
EM50.173	1	EM61.45	1	EM91.173.145	47
EM50.174	1	EM61.46	1	EM91.218.185	77
EM50.175	1	EM61.53	2	EM93.06	42
EM50.176	1	EM61.54	3	EM94.01	1


## Apêndice 6 – Consumo de Pernos e Parafusos

Tabela 44 - Análise ABC às unidades consumidas de pernos e parafusos.

Referência	Consumo (uni)	Consumo/semana (uni)	Custo unitário (€)
PR001.19	3708	119.61	0.02
PR001.74	2674	86.26	0.01
PR001.72	1588	51.23	0.50
PR001.20	750	24.19	0.04
9395.0107	202	6.52	0.96
PR004.05	201	6.48	0.03
PF001.124	196	6.32	0.03
PF001.23	191	6.16	0.05
PF101.06	180	5.81	7.70
PR004.20	172	5.55	0.08
PF101.08	150	4.84	11.60
9395.0119	138	4.45	0.65
9395.7011	117	3.77	3.36
PF001.266	109	3.52	0.30
PR006.15	100	3.23	0.64
PR006.24	100	3.23	0.67
9395.7003	95	3.06	3.25
PR004.13	92	2.97	0.03
9395.0194	87	2.81	5.04
PF001.42	86	2.77	0.13
PF101.11	84	2.71	16.96
PF001.216	80	2.58	0.06
9395.7002	73	2.35	2.60
9395.0216	65	2.10	2.87
9395.7060	65	2.10	0.00
PF001.227	58	1.87	0.15
PR006.25	50	1.61	0.72
PR006.27	50	1.61	0.83
PF001.204	49	1.58	0.07
9395.7018	42	1.35	3.16
PR006.19	40	1.29	0.71
PR001.05	36	1.16	0.02
PR004.09	35	1.13	0.05
9395.0012	35	1.13	0.65
9395.0215	35	1.13	3.26
9395.7029	35	1.13	2.20
PR006.07	30	0.97	0.60
PR006.22	30	0.97	0.85
PR006.18	26	0.84	0.71
9395.0052	26	0.84	0.62
9395.7061	25	0.81	1.13
9395.7028	23	0.74	2.60
PF001.58	21	0.68	0.55
9395.0219	20	0.65	3.18
9395.0223	20	0.65	4.42
9395.0047	20	0.65	0.60
9395.0224	20	0.65	4.97
PF003.28	20	0.65	0.03
9395.7014	20	0.65	3.25
PR006.29	19	0.61	0.76
PF001.02	18	0.58	0.04

PF001.231	17	0.55	0.16
PR001.22	16	0.52	0.06
PR001.07	13	0.42	49.00
PR006.23	13	0.42	1.49
PF001.22	10	0.32	0.05
PR007.01	10	0.32	0.15
PR007.05	10	0.32	0.10
PR007.10	10	0.32	0.11
PR007.15	10	0.32	0.13
PR007.20	10	0.32	0.23
PR007.25	10	0.32	0.45
PR100.46	9	0.29	5.33
PF001.40	8	0.26	0.11
9395.0095	8	0.26	0.77
PF001.45	6	0.19	0.32
PF001.172	5	0.16	0.31
PR004.16	5	0.16	0.03
PF001.117	5	0.16	0.12
PF001.187	5	0.16	0.04
PF001.06	4	0.13	0.04
9395.0019	4	0.13	1.48
9395.0020	4	0.13	8.22
9395.0014	4	0.13	0.68
PR100.45	2	0.06	5.33
PF001.228	2	0.06	0.04
9395.0057	1	0.03	0.56
PR100.48	1	0.03	1.95
9395.0059	1	0.03	0.00
PR006.01	1	0.03	0.69
9395.0117	1	0.03	1.06
9395.0233	1	0.03	0.00

Apêndice 7 – Matriz de competências da célula de montagem

 <b>MATRIZ DE COMPETÊNCIAS</b>		Colaborador		
		Operador 1	Operador 3	Operador 2
Competências	Descrição			
<b>Lavagem</b>	Substituição da água das tinas	●	●	◐
	Colocação das ferramentas na tina	●	●	◐
	Secagem das ferramentas	●	●	◐
<b>Montagem</b>	Montagem de apertos modulares	●	●	◐
	Montagem de lâminas, buris e pastilhas	●	●	◐
	Montagem de parafusos e pernos	●	●	◐
	Aplicação de colas e lubrificantes	●	●	◐
<b>Medição/Inspeção</b>	Medição/Afinação de buris	●	◐	◐
	Emissão de relatórios de medição	●	◐	◐
	Verificação de furos de lubrificação	●	●	◐
<b>Equilibragem e Furação</b>	Criação/alteração de programa de etiquetagem	●	●	◐
	Colocação da etiqueta	●	●	◐
	Execução do programa de gravação	●	●	◐
	Guardar relatório de equilibragem na rede	●	●	◐
	Afinação de aperto modular	●	●	◐
<b>Gravação</b>	Criação/alteração de programa de gravação	●	●	◐
	Ajuste do feixe de laser	●	●	◐
	Execução do programa de gravação	●	●	◐
<b>Etiquetagem e Embalamento</b>	Criação e alteração de programa de etiquetagem	●	●	◐
	Colocação da etiqueta	●	●	●
	Seleção correta da embalagem	●	●	◐
	Acondicionamento correto da ferramenta na embalagem	●	●	◐
<b>Outros</b>	Requisição de materiais e consumíveis	●	●	◐
	Interpretação de desenho técnico	●	●	◐
	Manutenção de caixas	●	●	◐

Nível	●	◐	◐	◐	○
Sabe?	Sim	Sim	Com supervisão	Pouco	Não
Sabe Formar?	Sim	Não	Não	Não	Não

Figura 81 - Matriz de Competências dos operadores da célula de montagem.

## Apêndice 8 – Análise ABC por unidades e por valor de vendas

Tabela 45 - Análise ABC por unidades vendidas.

Família	Nr unidades	%Total	%Total Acum	Categoria
E922	10917	40%	39.7%	A
E993	6009	22%	61.6%	A
E991	1947	7%	68.7%	A
E976	1620	6%	74.6%	B
E990	1016	4%	78.3%	B
E925	1001	4%	82.0%	B
E902	957	3%	85.4%	B
E977	871	3%	88.6%	B
E980	463	2%	90.3%	C
E992	369	1%	91.6%	C
E970	254	1%	92.6%	C
E920	246	1%	93.5%	C
E946	238	1%	94.3%	C
E994	158	1%	94.9%	C
9990	145	0.5%	95.4%	C
E931	138	0.5%	95.9%	C
E921	132	0.5%	96.4%	C
E930	121	0.4%	96.9%	C
E924	96	0.3%	97.2%	C
E998	84	0.3%	97.5%	C
E940	79	0.3%	97.8%	C
9394	78	0.3%	98.1%	C
E923	76	0.3%	98.4%	C
E932	52	0.2%	98.5%	C
9595	50	0.2%	98.7%	C
9703	50	0.2%	98.9%	C
E944	31	0.1%	99.0%	C
E939	28	0.1%	99.1%	C
E948	22	0.1%	99.2%	C
9206	14	0.1%	99.3%	C
9207	14	0.1%	99.3%	C
9190	14	0.1%	99.4%	C
E943	12	0.0%	99.4%	C
9899	12	0.0%	99.4%	C
9511	11	0.0%	99.5%	C
E942	11	0.0%	99.5%	C
BM91	0	0.0%	99.5%	C
9208	10	0.0%	99.6%	C
9153	10	0.0%	99.6%	C
9791	10	0.0%	99.6%	C
E926	9	0.0%	99.7%	C
9209	9	0.0%	99.7%	C
E983	9	0.0%	99.7%	C
9590	9	0.0%	99.8%	C
9395	8	0.0%	99.8%	C
9530	7	0.0%	99.8%	C
9510	7	0.0%	99.8%	C
BME9	0	0.0%	99.8%	C
E959	5	0.0%	99.9%	C
E999	5	0.0%	99.9%	C

9192	5	0.0%	99.9%	C
9506	4	0.0%	99.9%	C
E919	4	0.0%	99.9%	C
E984	3	0.0%	99.9%	C
9193	3	0.0%	100.0%	C
9520	2	0.0%	100.0%	C
E950	2	0.0%	100.0%	C
9201	2	0.0%	100.0%	C
9550	2	0.0%	100.0%	C
E915	1	0.0%	100.0%	C
E941	1	0.0%	100.0%	C
E936	1	0.0%	100.0%	C
9195	1	0.0%	100.0%	C
9514	1	0.0%	100.0%	C

Tabela 46 - Análise ABC por valor de vendas.

Família	Valor	%Total	%Total Acum	Categoria
E993	2069915	29.8%	29.8%	A
E991	1567468	22.6%	52.4%	A
E922	858572.2	12.4%	64.8%	A
E990	507237.6	7.3%	72.1%	B
E946	465162	6.7%	78.8%	B
E992	255471.5	3.7%	82.5%	B
E994	101062.8	1.5%	83.9%	B
E931	100001.7	1.4%	85.4%	B
E976	99028.53	1.4%	86.8%	B
E940	90505.29	1.3%	88.1%	B
9990	76025.88	1.1%	89.2%	B
E980	69756.98	1.0%	90.2%	C
E977	65220.38	0.9%	91.1%	C
E932	56987.66	0.8%	92.0%	C
E930	56860.08	0.8%	92.8%	C
E920	55926.37	0.8%	93.6%	C
E925	53304.78	0.8%	94.4%	C
E921	52679.79	0.8%	95.1%	C
E924	46376.09	0.7%	95.8%	C
9595	42881.44	0.6%	96.4%	C
E923	42184.32	0.6%	97.0%	C
E948	39408.31	0.6%	97.6%	C
E944	28636.67	0.4%	98.0%	C
E902	27320.82	0.4%	98.4%	C
E943	19670.4	0.3%	98.7%	C
E942	19596.75	0.3%	99.0%	C
E970	15878.6	0.2%	99.2%	C
E998	8581.96	0.1%	99.3%	C
9703	6825.8	0.1%	99.4%	C
9394	5724.66	0.1%	99.5%	C
E983	5254.3	0.1%	99.6%	C
E926	4664.08	0.1%	99.6%	C
E984	3524.26	0.1%	99.7%	C
9590	3186.44	0.0%	99.7%	C
9153	3162.8	0.0%	99.8%	C
9190	2403.94	0.0%	99.8%	C
E959	1781.85	0.0%	99.8%	C

9511	1635.58	0.0%	99.9%	C
9510	1041.25	0.0%	99.9%	C
9530	982.1	0.0%	99.9%	C
E939	843.64	0.0%	99.9%	C
E999	800.25	0.0%	99.9%	C
9791	786.8	0.0%	99.9%	C
9514	592.08	0.0%	99.9%	C
9208	567.8	0.0%	99.9%	C
9520	518.2	0.0%	99.9%	C
9506	501.16	0.0%	100.0%	C
9193	437.52	0.0%	100.0%	C
9192	433.15	0.0%	100.0%	C
E915	420.07	0.0%	100.0%	C
9209	391.41	0.0%	100.0%	C
9207	330.3	0.0%	100.0%	C
E919	306.8	0.0%	100.0%	C
9206	264.3	0.0%	100.0%	C
E936	257.67	0.0%	100.0%	C
E950	174.58	0.0%	100.0%	C
9195	113.61	0.0%	100.0%	C
9550	91.3	0.0%	100.0%	C



## Apêndice 9 – Matriz de Relacionamento para aplicação do método CORELAP

Tabela 47 - Matriz de Relacionamento para aplicação do método CORELAP.

<b>Equipamento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>TCR</b>	
Tina de limpeza	-	5	2	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	38
Tapete rolante 1)	5	-	3	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	39
Tapete rolante 2)	2	3	-	2	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
Bancada trabalho: montagem	5	5	2	-	5	4	2	2	6	6	6	4	2	2	2	2	6	61	
Bancada trabalho: gravação	2	2	5	5	-	6	2	2	3	3	3	6	6	2	2	2	2	53	
Bancada trabalho: embalagem	2	2	2	4	6	-	6	6	2	2	2	2	2	6	6	6	2	58	
Máquina espuma	2	2	2	2	2	6	-	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	37	
Estante de embalagens	2	2	2	2	2	6	3	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	37	
Máquina de medição	2	2	2	6	3	2	2	2	-	4	1	3	2	2	2	2	2	39	
Máquina de equilibragem	2	2	2	6	3	2	2	2	4	-	6	3	2	2	2	2	2	44	
Máquina de furação	2	2	2	6	3	2	2	2	1	6	-	3	2	2	2	2	2	41	
Máquina de gravação	2	2	2	4	6	2	2	2	3	3	3	-	6	2	2	2	2	45	
PC de gravação	2	2	2	2	6	2	2	2	2	2	2	6	-	2	2	2	2	40	
PC para etiquetagem	2	2	2	2	2	6	2	2	2	2	2	2	2	-	6	5	2	43	
Impressoras de etiquetas	2	2	2	2	2	6	2	2	2	2	2	2	2	6	-	5	2	43	
Balança	2	2	2	2	2	6	2	2	2	2	2	2	2	5	5	-	2	42	
Estante de pernos	2	2	2	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-	36	

## Apêndice 10 – Distribuição das tarefas por cada operador segundo o modo Working Balance

Tabela 48 - Distribuição das tarefas da célula de montagem por operador.

Tipo/Família	Tarefa	Tempo (s)	Tempo total (h)	Operador	
Transversais	Preparar programa de gravação	60	83,6	2/3	
	Preparar programa de etiquetas	21	28,9	2/3	
	Preencher checklist e realizar manutenção de caixa	38	53,0	2/3	
E922 + E925	Alcançar e desembalar ferramentas	20	9,4	2/3	
	Verificar furos de lubrificação (/uni)	3	9,0	2/3	
	Limpar ferramenta c/ papel	11	36,8	2/3	
	Gravar ferramenta	13	42,5	2/3	
	Embalar ferramenta	8	26,8	2/3	
	Colocar etiqueta na ferramenta	4	12,2	2/3	
E993	Alcançar e desembalar ferramentas	67	31,4	2/3	
	Verificar furos de lubrificação (/uni)	17	27,9	2/3	
	Limpar ferramenta c/ papel	9	15,2	2/3	
	Gravar ferramenta	10	16,4	2/3	
	Colocar etiqueta na embalagem	4	6,9	2/3	
	Embalar ferramenta	14	23,3	2/3	
E991	Alcançar ferramenta, desembalar	11	2,7	1	
	Colocar ferramenta para lavagem	32	17,3	1	
	Secar ferramenta e verificar furos de lubrificação	51	27,8	1	
	Montar parafusos/pernos	41	22,3	1	
	Preparar programa de equilibragem	47	11,7	1	
	Executar programa de equilibragem e guardar relatório	104	56,0	1	
	Colocar pernos de equilibragem	60	32,2	1	
	Furar ferramenta, escarear e pintar furos de equilibragem	82	44,5	1	
	Gravar ferramenta	33	17,9	2/3	
	Colocar etiqueta na embalagem	8	4,2	2/3	
	Alcançar e preparar embalagem	56	30,5	2/3	
	Embalar e acondicionar ferramenta	14	7,4	2/3	
E990	similar E993	Alcançar e desembalar ferramentas	67	5,7	2/3

		Verificar furos de lubrificação (/uni)	17	3,5	2/3
		Limpar ferramenta c/ papel	9	1,9	2/3
		Gravar ferramenta	10	2,0	2/3
		Colocar etiqueta na embalagem	4	0,9	2/3
		Embalar ferramenta	14	2,9	2/3
	E991 + modular	Alcançar ferramenta, desembalar	11	0,3	1
		Colocar ferramenta para lavagem	32	2,3	1
		Secar ferramenta e verificar furos de lubrificação	51	3,6	1
		Montar parafusos/pernos	41	2,9	1
		Preparar programa de equilibragem	47	3,3	1
		Executar programa de equilibragem e guardar relatório	104	7,3	1
		Colocar pernos de equilibragem	60	4,2	1
		Furar ferramenta, escarear e pintar furos de equilibragem	82	5,8	1
		Gravar ferramenta	33	2,3	1
		Colocar etiqueta na embalagem	8	0,5	1
		Alcançar e preparar embalagem	56	4,0	1
		Embalar e acondicionar ferramenta	14	1,0	1
		Montar aperto modular	255	18,0	1
		E992	similar E993	Alcançar e desembalar ferramentas	67
Verificar furos de lubrificação (/uni)	17			0,4	2/3
Limpar ferramenta c/ papel	9			0,2	2/3
Gravar ferramenta	10			0,2	2/3
Colocar etiqueta na embalagem	4			0,1	2/3
Embalar ferramenta	14			0,3	2/3
E991+ broca central	Alcançar ferramenta, desembalar		11	0,4	1
	Colocar ferramenta para lavagem		32	2,5	1
	Secar ferramenta e verificar furos de lubrificação		51	4,1	1
	Montar parafusos/pernos		41	3,2	1

		Preparar programa de equilibragem	47	3,7	1
		Executar programa de equilibragem e guardar relatório	104	8,2	1
		Colocar pernos de equilibragem	60	4,7	1
		Furar ferramenta, escarear e pintar furos de equilibragem	82	6,5	1
		Gravar ferramenta	33	2,6	2/3
		Colocar etiqueta na embalagem	8	0,6	2/3
		Alcançar e preparar embalagem	56	4,4	2/3
		Embalar e acondicionar ferramenta	14	1,1	2/3
		Preparar programa de medição	53	2,8	1
		Montar e afinar broca central	153	12,1	1
E946		Alcançar ferramenta, desembalar	11	0,2	1
		Colocar ferramenta para lavagem	32	2,1	1
		Secar ferramenta e verificar furos de lubrificação	51	3,4	1
		Montar parafusos/pernos	41	2,7	1
		Preparar programa de equilibragem	47	3,1	1
		Executar programa de equilibragem e guardar relatório	104	6,9	1
		Colocar pernos de equilibragem	60	3,9	1
		Furar ferramenta, escarear e pintar furos de equilibragem	82	5,4	1
		Gravar ferramenta	33	2,2	2/3
		Colocar etiqueta na embalagem	8	0,5	2/3
		Alcançar e preparar embalagem	56	3,7	2/3
		Embalar e acondicionar ferramenta	14	0,9	2/3
		Preparar caixa de madeira	358	23,7	2/3
E931 (E930+E931+E932+E933)		Alcançar ferramenta, desembalar	33	1,1	1
		Colocar ferramenta para lavagem	32	2,8	1
		Secar ferramenta e verificar furos de lubrificação	51	4,4	1
		Preparar programa de equilibragem	47	4,1	1
		Executar programa de equilibragem e guardar relatório	104	9,0	1
		Colocar pernos de equilibragem	60	5,1	1
		Furar ferramenta, escarear e pintar furos de equilibragem	82	7,1	1

	Gravar ferramenta	33	2,9	2/3
	Colocar etiqueta na embalagem	8	0,7	2/3
	Alcançar e preparar embalagem	56	4,9	2/3
	Emballar e acondicionar ferramenta	14	1,2	2/3
	Montar pernos e parafusos na ferramenta	148	12,8	1
	Montar pastilhas, buris ou lâminas	59	5,1	1
	Preparar programa de medição	53	1,9	1
	Montar e afinar broca central	153	13,3	1

## Apêndice 11 – Standardized Work Chart para famílias E922 e E993

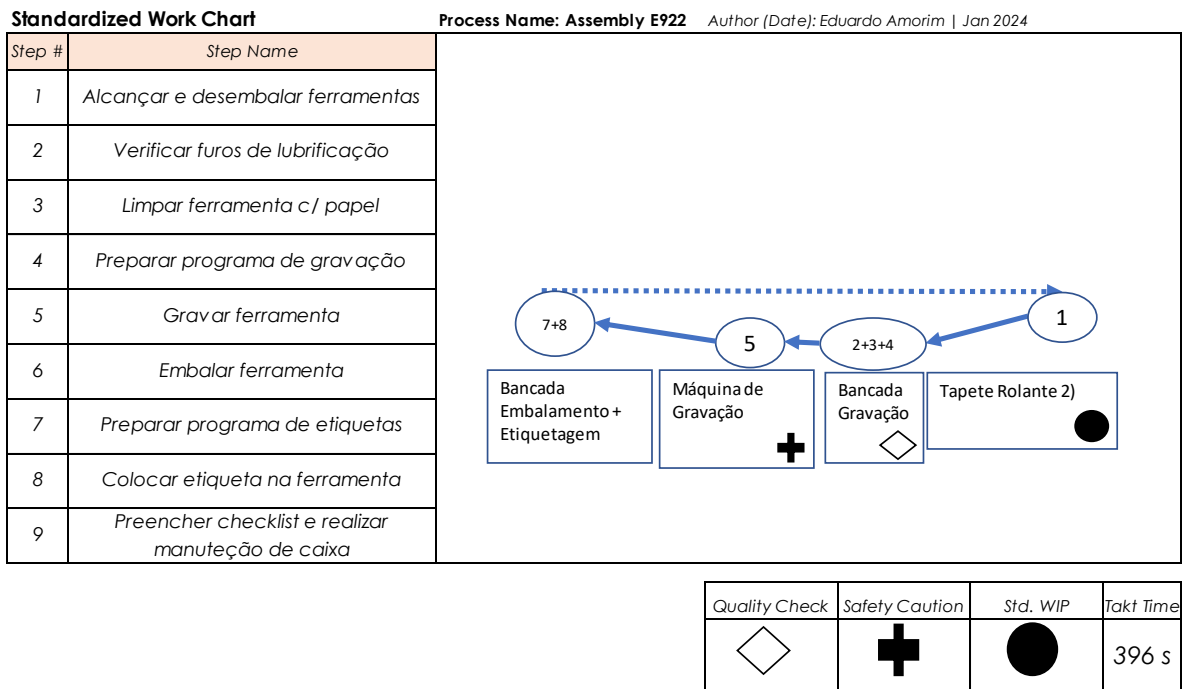


Figura 82 - Standardized Work Chart para a família E922.

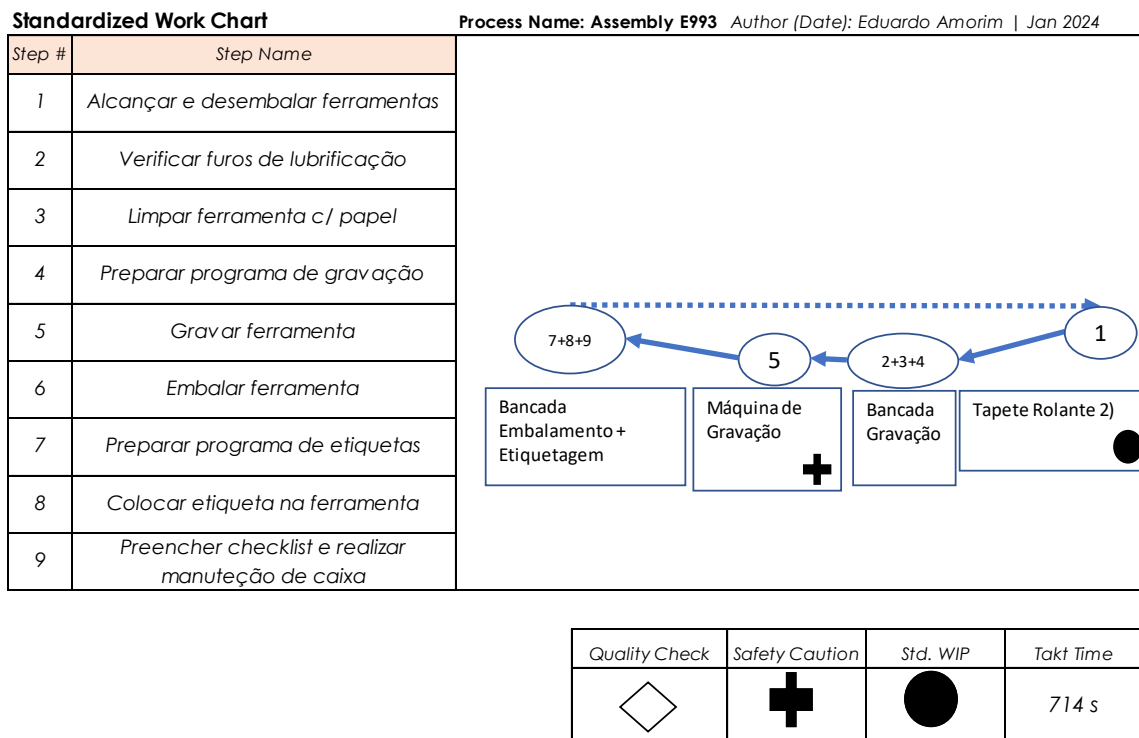


Figura 83 - Standardized Work Chart para a família E993.

## Apêndice 12 – Standardized Work Combination Table para famílias E993 e E991

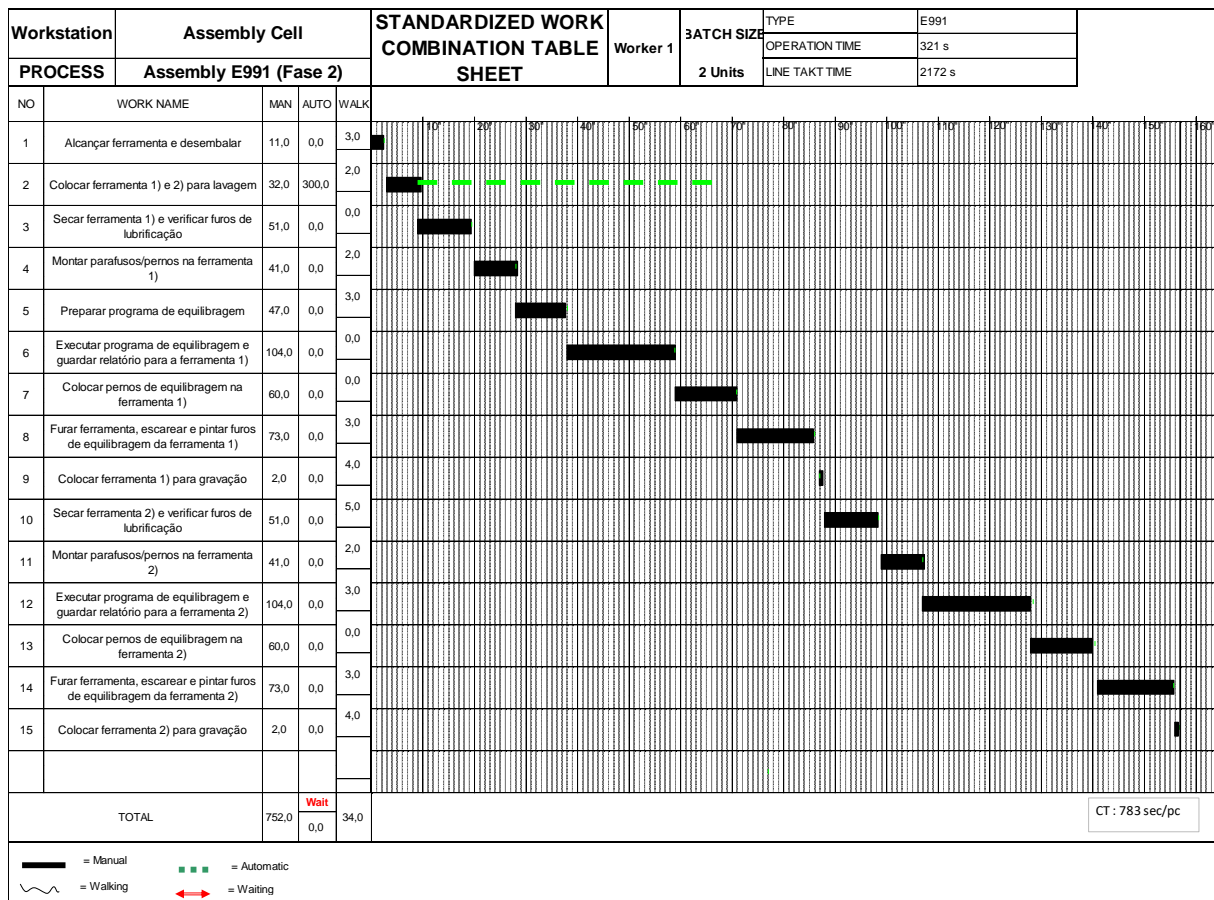


Figura 84 - Standardized Work Combination Table para a família E991 - Operador 1.

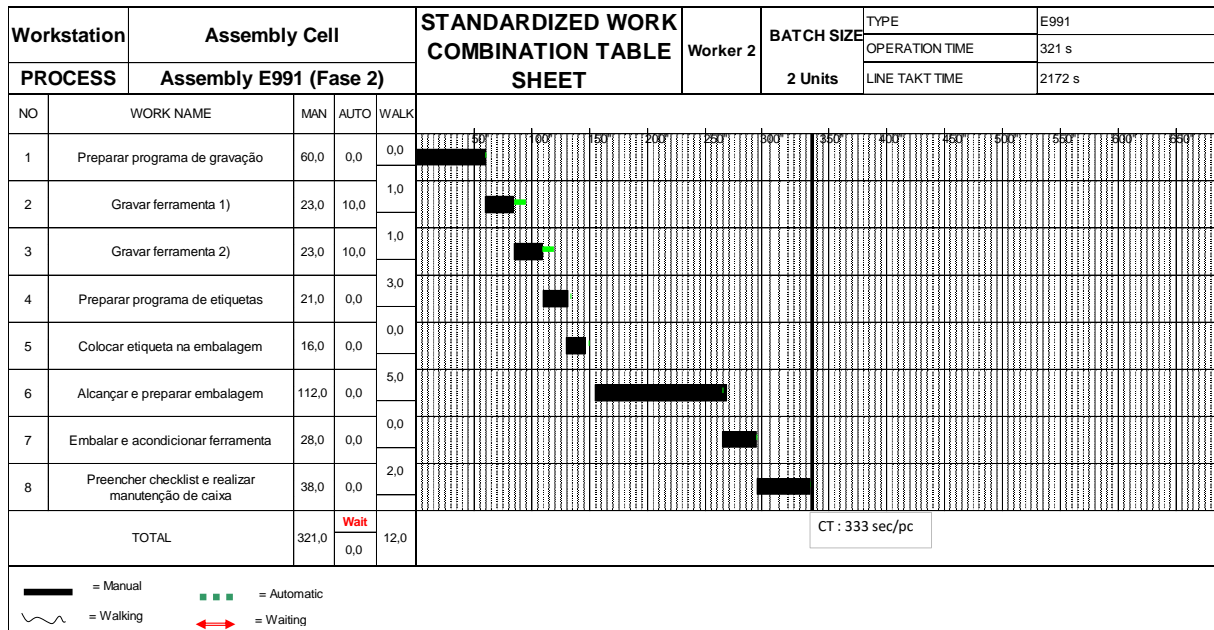


Figura 85 - Standardized Work Combination Table para a família E991 - Operador 2.

Workstation		Assembly Cell		STANDARDIZED WORK COMBINATION TABLE SHEET				3ATCH SIZE		TYPE		
PROCESS		Assembly E993						4 Units		OPERATION TIME		E993
								384 s		702 s		
NO	WORK NAME	MAN	AUTO	WALK								
1	Alcançar e desembalar ferramentas	67,0	0,0	3,0	[Gantt bar: 0-67s]							
2	Verificar furos de lubrificação	68,0	0,0	3,0	[Gantt bar: 67-135s]							
3	Limpar ferramenta c/ papel	36,0	0,0	0,0	[Gantt bar: 135-171s]							
4	Preparar programa de gravação	60,0	0,0	3,0	[Gantt bar: 171-231s]							
5	Gravar ferramentas	12,0	28,0	0,0	[Gantt bar: 231-243s]							
6	Embalar ferramenta	56,0	0,0	3,0	[Gantt bar: 243-303s]							
7	Preparar programa de etiquetas	21,0	0,0	1,0	[Gantt bar: 303-324s]							
8	Colocar etiqueta na ferramenta	16,0	0,0	0,0	[Gantt bar: 324-340s]							
9	Preencher checklist e realizar manutenção de caixa	38,0	0,0	0,0	[Gantt bar: 340-378s]							
TOTAL		374,0	Wait 0,0	13,0					CT : 384 sec/pc		TT : 714 sec/pc	
■ = Manual ■■■ = Automatic ~ = Walking ↔ = Waiting												

Figura 86 - Standardized Work Combination Table para a família E993.



## Apêndice 13 – Código em VBA do algoritmo de seleção de embalagens

```
Sub FindBestPackage ()

    Dim wsDados As Worksheet
    Dim wsUser As Worksheet

    Set wsDados = Sheets(2)
    Set wsUser = Sheets(1)

    Dim lastRowFamilia As Long
    Dim lastRowCone As Long

    ' Find the last non-empty cell in column M
    lastRowFamilia = wsDados.Cells(Rows.Count, "M").End(xlUp).Row

    ' Find the last non-empty cell in column P
    lastRowCone = wsDados.Cells(Rows.Count, "P").End(xlUp).Row

    ' Find the last non-empty cell in column V
    lastRowCarapuça = wsDados.Cells(Rows.Count, "V").End(xlUp).Row

    ' Find the last non-empty cell in column A
    LastRow = wsDados.Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

    Dim lookupRange As Range
    Set lookupRange = wsDados.Range("M3:N" & lastRowFamilia)

    Dim toolLength As Double
    Dim toolDiameter As Double
    Dim toolWeight As Double
    Dim espessura As Double
    Dim finalDiameter As Double
    Dim toolCover As String
    Dim toolFamily As String
    Dim toolQuantity As Integer
    Dim NonMaterialCaixa As Collection
    Set NonMaterialCaixa = New Collection
    Dim minLengthDiff As Double
    Dim minDiameterDiff As Double
    Dim diameterDiff As Double
    minLengthDiff = 9999999 ' Initialize with a large value
    minDiameterDiff = 9999999 ' Initialize with a large value

    Dim toolMaterialCaixa As String
    Dim restrictedPackages As Range

    Dim bestPackage As String
    Dim bestPackageLengthDiff As Double
    Dim bestPackageDiameterDiff As Double
    Dim currentRow As Long

    ' Read input values
    toolLength = wsUser.Range("C3").value
```

```

toolDiameter = wsUser.Range("C4").value
cutDiameter = wsUser.Range("C5").value
toolWeight = wsUser.Range("C6").value
toolFamily = wsUser.Range("C7").value
toolQuantity = wsUser.Range("C8").value
toolCone = wsUser.Range("C9").value
toolType = wsUser.Range("C10").value
setpackage = wsUser.Range("C11").value

' catch error: campos obrigatórios

If toolLength = 0 Then
    MsgBox "Por favor introduza o comprimento total da ferramenta"
    GoTo Fim:
End If
If toolDiameter = 0 Then
    MsgBox "Por favor introduza o diâmetro da ferramenta"
    GoTo Fim:
End If
If toolWeight = 0 Then
    MsgBox "Por favor introduza o peso da ferramenta"
    GoTo Fim:
End If
If toolFamily = "" Then
    MsgBox "Por favor introduza o nome da família do produto"
    GoTo Fim:
End If

' catch error: campos opcionais

If IsEmpty(cutDiameter) Then
    cutDiameter = toolDiameter
    MsgBox "Visto que não foram introduzidos dados, será assumido que:
Ø corte mínimo = Ø máximo da ferramenta. " & _
"Caso não seja o pretendido, insira manualmente os dados."
End If
If toolQuantity = 0 Then
    toolQuantity = 1
    MsgBox "Visto que não foram introduzidos dados, será assumido que:
Qtd = 1. " & _
"Caso não seja o pretendido, insira manualmente os dados."
End If
If IsEmpty(toolCone) Then
    toolCone = "NA"
    MsgBox "Visto que não foram introduzidos dados, será assumido que a
ferramenta não tem cone. " & _
"Caso não seja o pretendido, insira manualmente os dados."
End If
If IsEmpty(toolType) Then
    toolType = "Broca"
    MsgBox "Visto que não foram introduzidos dados, será assumido que:
Tipo de ferramenta = Broca. " & _
"Caso não seja o pretendido, insira manualmente os dados."
End If
If IsEmpty(setpackage) Then
    setpackage = "NA"

```

```

    MsgBox "Visto que não foram introduzidos dados, será assumido que
não existem restrições ditadas pelo utilizador à seleção de embalagens." & _
    "Caso não seja o pretendido, insira manualmente os dados."
End If

'Ajuste do comprimento e Ø final - caso ferramenta c/ cone'
If toolCone <> "NA" Then
    Dim coneRow As Long
    coneRow = Application.Match(toolCone, wsDados.Range("P:P"), 0)
    toolLength = toolLength + wsDados.Range("Q" & coneRow).value
    toolDiameter = WorksheetFunction.Max(toolDiameter,
wsDados.Range("R" & coneRow).value)
End If

'Ajuste do Ø final caso Ø de corte < 24 mm - acrescentar carapuça '
If cutDiameter < 24 Then
    Dim caraRow As Long
    Dim dim_aux As Double
    For i = 3 To lastRowCarapuça
        If wsDados.Cells(i, "V").value >= cutDiameter Then
            ' Save the values in columns T and U
            cara = wsDados.Cells(i, "T").value
            espessura = wsDados.Cells(i, "U").value
            Exit For
        End If
    Next i
    If cutDiameter + 2 * espessura > toolDiameter Then
        toolDiameter = cutDiameter + 2 * espessura
    End If
End If

'verificar família da ferramenta
On Error Resume Next
toolMaterialCaixa = Application.VLookup(toolFamily, lookupRange, 2,
False)
'Embalagens múltiplas apenas são utilizadas se qtd > 3
If toolMaterialCaixa = "Plástico Múltiplas" And toolQuantity < 3
Then
    toolMaterialCaixa = ""
End If
'Embalagens múltiplas apenas são utilizadas para brocas"
If toolMaterialCaixa = "Plástico Múltiplas" And toolType <> "Broca"
Then
    toolMaterialCaixa = ""
    MsgBox "Não é possível utilizar embalagens múltiplas, visto que
não se tratam de brocas. Serão utilizadas embalagens individuais"
End If
On Error GoTo 0

If IsError(toolMaterialCaixa) Then
    toolMaterialCaixa = "" ' Assign empty string if VLookup fails
End If

'Forçar embalagem escolhida pelo utilizador'
If Not setpackage = "NA" Then
    toolMaterialCaixa = setpackage
End If

```

```

If toolQuantity >= 3 And toolQuantity <= 5 Then
    Set restrictedPackages = wsDados.Range("C:C").Find(5, , , xlWhole)
ElseIf toolQuantity > 5 Then
    Set restrictedPackages = wsDados.Range("C:C").Find(10, , , xlWhole)
End If

'.....
' Criação de restrições ao não uso de caixas de plástico e exclusão de
caixas de madeira

' Ferramentas que não podem ir em caixas de plástico'
lista_nao_plastico = Array("E942", "E946")

' Verificar Ø e comprimento máx das caixas de cartão

Dim MaxValue As Double
Dim CurrentValueØ As Double
Dim CurrentValueC As Double

MaxValueØ = -1
MaxValueC = -1

' Loop through each row to find the maximum value in column 8 for
"Cartão" rows
For i = 2 To LastRow ' Assuming that the data starts from row 2
    If wsDados.Cells(i, 4).value = "Cartão" Then
        ' Check if the value in column 8 (C Max) is greater than
MaxValue
        CurrentValueØ = wsDados.Cells(i, 9).value
        CurrentValueC = wsDados.Cells(i, 8).value
        If CurrentValueØ > MaxValueØ And CurrentValueC > MaxValueC Then
            MaxValueØ = CurrentValueØ
            MaxValueC = CurrentValueC
        End If
    End If
Next i

Set NonMaterialCaixa = New Collection
' Ferramenta cabe em cartão?
If toolLength <= MaxValueC And toolDiameter <= MaxValueØ And toolWeight
<= 10 Then
    NonMaterialCaixa.Add "Madeira"
End If

' Atualização da lista de restrição de materiais de caixas. os materiais
presentes nesta lista vão ser excluídos do algoritmo de procura
arrayLength = UBound(lista_nao_plastico) - LBound(lista_nao_plastico) +
1
For Each k In lista_nao_plastico
    If k = toolFamily Then
        NonMaterialCaixa.Add "Plástico"
        Exit For ' Exit the loop early because you found a match
    End If
Next k

```

```

.....
'Percorrer lista de embalagens todas'

For i = 2 To wsDados.Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    Dim packageLength As Double
    Dim packageDiameter As Double
    Dim lengthDiff As Double
    Dim packageMaterial As String
    Dim packageQuantity As Double
    Dim packageWeight As Double

    Dim foundMatch As Boolean
    foundMatch = False
    For Each Item In NonMaterialCaixa
        If Item = packageMaterial Then
            foundMatch = True
            Exit For ' Exit the loop if a match is found
        End If
    Next Item

    diameterDiff = 9999999
    lengthDiff = 9999999

    packageLength = wsDados.Cells(i, 8).value
    packageDiameter = wsDados.Cells(i, 9).value
    packageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value
    packageQuantity = wsDados.Cells(i, 3).value
    packageWeight = wsDados.Cells(i, 10).value

    If IsEmpty(wsDados.Cells(i, 10).value) Then
        packageWeight = 100
    Else:
        packageWeight = wsDados.Cells(i, 10).value
    End If

    'verificar se embalagens múltiplas conseguem suportar ferramenta
    If toolQuantity > 1 Then
        maxValueD = -9999999
        'encontrar Ø máximo das embalagens múltiplas
        For currentRow = 1 To LastRow

            ' Check if the corresponding cell in column D contains "Plástico
Múltiplas"
            If wsDados.Cells(currentRow, "D").value = "Plástico Múltiplas"
Then
                ' Check if the value in column I is greater than the current
maxValue
                If wsDados.Cells(currentRow, "I").value > maxValueD Then
                    ' Update the maxValue
                    maxValueD = wsDados.Cells(currentRow, "I").value
                End If
            End If
        Next currentRow
    End If
End For

```

```

        MaxValueC = -9999999
'encontrar comprimento máximo das embalagens múltiplas
    For currentRow = 1 To LastRow

        ' Check if the corresponding cell in column D contains "Plástico
Múltiplas"
        If wsDados.Cells(currentRow, "D").value = "Plástico Múltiplas"
Then
            ' Check if the value in column I is greater than the current
maxValue
                If wsDados.Cells(currentRow, "H").value > MaxValueC Then
                    ' Update the maxValue
                    MaxValueC = wsDados.Cells(currentRow, "H").value
                End If
            End If
        Next currentRow

        'ferramenta cabe numa embalagem múltipla?
        If MaxValueC > toolLength And maxValueD >= toolDiameter Then
            GoTo Seguinte:
        Else
            toolMaterialCaixa = ""
        End If
Seguinte:
        End If

        ' Check if the tool material matches the package material, or if
toolMaterialCaixa is empty
        If toolMaterialCaixa = "Plástico Múltiplas" And toolType = "Broca"
Then
            If packageMaterial = "Plástico Múltiplas" Then
                If toolLength <= packageLength And toolDiameter <=
packageDiameter And packageQuantity = restrictedPackages And packageWeight
>= toolWeight Then
                    lengthDiff = packageLength - toolLength
                    diameterDiff = packageDiameter - toolDiameter

                    ' Check if the current combination is better than the
previous best combination

                        If diameterDiff < minDiameterDiff Then
                            minLengthDiff = lengthDiff
                            minDiameterDiff = diameterDiff
                            bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value ' Store the
package reference
                                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value
'Store the package material
                        ElseIf diameterDiff = minDiameterDiff And lengthDiff <
minLengthDiff Then
                            minLengthDiff = lengthDiff
                            minDiameterDiff = diameterDiff
                            bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value ' Store the
package reference
                                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value
'Store the package material
                        End If

```

```

        End If
    End If
    ElseIf toolMaterialCaixa = "" And packageMaterial <> "Plástico
Múltiplas" And Not foundMatch Then
        ' Check if the tool length and diameter are smaller than the
package
        If toolLength <= packageLength And toolDiameter <=
packageDiameter And packageWeight >= toolWeight Then
            lengthDiff = packageLength - toolLength
            diameterDiff = packageDiameter - toolDiameter

            ' Check if the current combination is better than the
previous best combination
            If diameterDiff < minDiameterDiff Then
                minLengthDiff = lengthDiff
                minDiameterDiff = diameterDiff
                bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value 'Store the
package reference
                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value 'Store
the package material
            ElseIf diameterDiff = minDiameterDiff And lengthDiff <
minLengthDiff Then
                minLengthDiff = lengthDiff
                minDiameterDiff = diameterDiff
                bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value ' Store the
package reference
                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value 'Store
the package material
            End If
        End If
    Else:
        If packageMaterial = toolMaterialCaixa Then
            If toolLength <= packageLength And toolDiameter <=
packageDiameter And packageWeight >= toolWeight Then
                lengthDiff = packageLength - toolLength
                diameterDiff = packageDiameter - toolDiameter
            End If
            ' Check if the current combination is better than the
previous best combination
            If diameterDiff < minDiameterDiff Then
                minLengthDiff = lengthDiff
                minDiameterDiff = diameterDiff
                bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value ' Store the
package reference
                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value 'Store
the package material
            ElseIf diameterDiff = minDiameterDiff And lengthDiff <
minLengthDiff Then
                minLengthDiff = lengthDiff
                minDiameterDiff = diameterDiff
                bestPackage = wsDados.Cells(i, 1).value ' Store the
package reference
                bestPackageMaterial = wsDados.Cells(i, 4).value 'Store
the package material
            End If
        End If
    End If
End If

```

```

Next i

If Not bestPackage = "" Then
    ' Output the best package reference and material
    wsUser.Range("E3").value = bestPackage
    wsUser.Range("F3").value = bestPackageMaterial

Else
    wsUser.Range("E3").value = ""
    wsUser.Range("F3").value = ""
    MsgBox "Não existe nenhuma caixa na lista que comporte a ferramenta
em causa" & _
        "Por favor, rever dados de input ou encomendar caixa
personalizada."
End If

If Not cara = "" Then
    wsUser.Range("G3").value = cara
Else: wsUser.Range("G3").value = "NA"
End If
Fim:
End Sub

```



## Apêndice 14 – Inventário da célula da Montagem

Tabela 49 - Inventário da montagem após triagem.

Descrição	QTD
chave sextavada curta 2 mm	1
chave sextavada curta 2,5 mm	2
chave sextavada curta 3 mm	1
chave sextavada curta 5 mm	2
chave sextavada curta 6 mm	2
chave sextavada longa 3 mm	1
chave sextavada longa 4 mm	1
chave sextavada longa 5 mm	1
chave sextavada longa 8 mm	1
chave sextavada longa 6 mm	1
chave chupeta HSK-80	2
maço	1
pistola de cola	1
frasco WD-40	1
frasco tinta preta	1
jogo chave sextavada (1,5 - 10) mm	1
chave bocas 18 mm	1
chave bocas 24 mm	2
chave bocas 30 mm	2
chave bocas 33 mm	2
chave bocas 42 mm	2
Chave torx T6	1
Chave torx 10IP	1
Chave torx 15IP	1
Chave torx T20	1
Chave meia-lua 25-28	1

Descrição	QTD
Chave meia-lua 52-55	1
Chave meia-lua 53-63	1
Alicate de freios 135x1,3	1
Alicate de freios 1036x175	1
Alicate de freios 1034x170	1
Alicate de freios 1032x180	1
Alicate de freios 1034x1,3	1
Alicate de freios 1038-175	1
Alicate de freios 1032-140	1
frasco diluente	1
frasco massa mós	2
mala de ferramentas 1)	1
mala de ferramentas 2)	1
chave torx T20	1
chave sextavada 10 mm	1
chave sextavada 5/8 mm	1
chave sextavada 19 mm	1
chave sextavada 22 mm	1
chave aperto anilha macho 14	1
chave aperto anilha macho 25	1
chave aperto anilha macho 30	1
Tinta MQL	1
Tinta retoque preta	1
Chave de rolo CP 8M	1
Nível	1
Alicate	1

Apêndice 15 – Diagramas de sequência-executante para as famílias E922, E992 e E993 após implementação de melhorias

Tabela 50 - Diagrama de sequência-executante da família E922 após melhorias.

Família		E922						
Nr	Elemento da Atividade	Tempo da Atividade (s)	Tipo de Atividade					
			Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazenamento
			VA	NVA				
1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	5			X			
2	Transportar caixa até à bancada de trabalho	1			X			
3	Retirar ferramentas da embalagem provisória	15		X				
4	Colocar embalagem usada no contentor	2		X				
5	Inspeccionar furos de lubrificação da ferramenta 1 a 15 c/ ar comprimido	56				X		
6	Limpar ferramenta 1 a 15 com papel e álcool	137	X					
7	Deslocar-se até ao PC de apoio à gravação	1			X			
8	Preparar programa de gravação	15		X				
9	Colocar ferramentas no gabari de gravação	13		X				
10	Gravação semi-automática das 15 ferramentas	107	X					

11	Retirar ferramentas do gabari de gravação	8		X				
12	Alcançar caixa c/ carapuças	2			X			
13	Colocar carapuça nas ferramentas 1 a 15	37	X					
14	Alcançar caixa c/ embalagens	2			X			
15	Embalar ferramentas 1 a 15	55	X					
16	Deslocar-se até PC de etiquetagem	2			X			
17	Preparar programa de etiquetas	21		X				
18	Impressão das etiquetas	9					X	
19	Etiquetar ferramentas 1 a 15	68	X					
20	Assinar e preencher OF	46		X				
21	Deslocar-se até ao tapete para alcançar a caixa	2			X			
22	Deslocar-se até à bancada de trabalho	1			X			
23	Colocar ferramentas na caixa	2			X			
24	Realizar manutenção de caixa	8		X				
25	Transportar caixa até ao centro de trabalho seguinte	5			X			

Tabela 51 - Diagrama de sequência-executante da família E991 após melhorias.

Família		E991							
Nr	Operador	Elemento da Atividade	Tempo da Atividade (s)	Tipo de Atividade					
				Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazenamento
				VA	NVA				
1	1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	2			X			
2	1	Desembalar ferramenta 1	2		X				
3	1	Colocar ferramenta 1 na tina de limpeza	8	X					
4	1	Desembalar ferramenta 2	3		X				
5	1	Colocar ferramenta 2 na tina de limpeza	5	X					
6	1	Secar ferramenta 1	14		X				
7	1	Verificar furos de lubrificação da ferramenta 1	13				X		
8	1	Deslocar-se até bancada de montagem	2			X			
9	1	Colocar perno central	10	X					
10	1	Transportar ferramenta 1 até máquina de equilibragem	2			X			

11	1	Preparar programa de equilibragem	19		X				
12	1	Colocar programa de equilibragem em execução	5	X					
13	1	Esperar pelo fim do programa	13					X	
14	1	Colocar perno de equilibragem	11	X					
15	1	Colocar programa de equilibragem em execução	4	X					
16	1	Esperar pelo fim do programa	13					X	
17	1	Gravar relatório equilibragem na rede	26	X					
18	1	Transportar ferramenta 1 até bancada de gravação	4			X			
19	1	Movimentar-se até tina de limpeza	4			X			
20	1	Secar ferramenta 2	15		X				
21	1	Verificar furos de lubrificação da ferramenta 2	12				X		
22	1	Transportar ferramenta 2 até	3			X			

		máquina de equilibragem							
23	1	Colocar programa de equilibragem em execução	4	X					
24	1	Esperar pelo fim do programa	13				X		
25	1	Transportar ferramenta para a máquina de furação	2						
26	1	Colocar ferramenta 1 na máquina de furação e apertar	8		X				
27	1	Furar ferramenta	16	X					
28	1	Transportar ferramenta para a máquina de equilibragem	2			X			
29	1	Colocar programa de equilibragem em execução	13	4					
30	1	Esperar pelo fim do programa	12				X		
31	1	Gravar relatório equilibragem na rede	32	X					
32	1	Transportar ferramenta 2 até à bancada de gravação	4			X			

33	2	Deslocar-se até à bancada de gravação	2			X			
34	2	Preparar programa de gravação	12		X				
35	2	Colocar ferramenta 1 na máquina de gravação	3			X			
36	2	Colocar ferramenta 1 no suporte e ajustar	8		X				
37	2	Ajustar altura da máquina de gravação	8		X				
38	2	Executar programa de gravação	2	X					
39	2	Esperar pelo fim do programa de gravação	5					X	
40	2	Transportar ferramenta 1 até à bancada de embalamento	2			X			
41	2	Deslocar-se até à bancada de gravação	2			X			
42	2	Colocar ferramenta 2 na máquina de gravação	3			X			

43	2	Esperar pelo fim do programa de gravação	5					X	
44	2	Transportar ferramenta 2 até à bancada de embalamento	2			X			
45	2	Alcançar papel antioxidante	5		X				
46	2	Deslocar-se à estante de embalagens	4			X			
47	2	Alcançar embalagens pretendidas	3		X				
48	2	Deslocar-se até à bancada de embalamento	2			X			
49	2	Preparar embalagens	10		X				
50	2	Colocar papel antioxidante na embalagem	1	X					
51	2	Embalar ferramenta 1	7	X					
52	2	Embalar ferramenta 2	7	X					
53	2	Preencher OF	13		X				
54	2	Deslocar-se até ao PC de etiquetagem	2			X			
55	2	Preparar programa de etiquetagem	30		X				



56	2	Etiquetar ferramenta 1	9	X					
57	2	Etiquetar ferramenta 2	5	X					
58	2	Colocar ferramentas e OF na Caixa	2		X				
59	2	Entregar ferramenta na Inspeção Final	10			X			

Tabela 52 - Diagrama de seqüência-executante da família E993 após melhorias.


Família		E993							
Nr	Tarefa	Tempo (s)	Tipo de Atividade						
			Operação		Transporte/ Movimentação	Inspeção	Esperas	Armazenamento	
			VA	NVA					
1	Deslocar-se até ao tapete para alcançar caixa	3			X				
2	Transportar caixa até à bancada de embalamento	3			X				
3	Retirar ferramentas da embalagem provisória	7		X					
4	Colocar embalagem usada no contentor	2		X					
5	Inspeccionar furos de lubrificação da ferramenta 1 c/ ar comprimido	6				X			
6	Inspeccionar furos de lubrificação da ferramenta 2 c/ ar comprimido	5				X			
7	Inspeccionar furos de lubrificação da ferramenta 3 c/ ar comprimido	6				X			

8	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 4 c/ ar comprimido	3				X		
9	Inspecionar furos de lubrificação da ferramenta 5 c/ ar comprimido	5				X		
10	Limpar ferramenta 1 com papel e álcool	10	X					
11	Limpar ferramenta 2 com papel e álcool	5	X					
12	Limpar ferramenta 3 com papel e álcool	8	X					
13	Limpar ferramenta 4 com papel e álcool	5	X					
14	Limpar ferramenta 5 com papel e álcool	5	X					
15	Deslocar-se até bancada de gravação	2			X			
16	Preparar programa de gravação	28		X				
17	Deslocar-se a bancada de embalamento	2			X			
18	Colocar ferramentas no gabari de gravação	37		X				
20	Gravação semi-automática das 5 ferramentas	30	X					
21	Alcançar embalagens	4		X				
22	Embalar ferramenta 1	6	X					
23	Embalar ferramenta 2	10	X					
24	Embalar ferramenta 3	8	X					
25	Embalar ferramenta 4	6	X					
26	Embalar ferramenta 5	7	X					

27	Deslocar-se até PC de etiquetagem	2			X			
28	Preparar programa de etiquetas	23		X				
29	Aguardar pela impressão das etiquetas	5					X	
30	Etiquetar ferramenta 1	2	X					
31	Etiquetar ferramenta 2	2	X					
32	Etiquetar ferramenta 3	4	X					
33	Etiquetar ferramenta 4	6	X					
34	Etiquetar ferramenta 5	4	X					
35	Assinar e preencher OF	15		X				
38	Colocar ferramentas na caixa	3		X				
39	Realizar manutenção de caixa	9		X				
40	Transportar caixa até ao centro de trabalho seguinte e voltar	14			X			

ANEXOS

Anexo 1 – Rotina de limpeza das tinas de lavagem da célula de montagem








**Manutenção Tinas de Limpeza com Água**

Pág. 1 de 1

Tina	Capacidade (Litros)	Produto		Porcentagem	Tempo de imersão	
		Normal:	Ultrassons:		Normal:	Ultrassons:
S/ código (Quente)	35	Detex 10-0 (QM018)	Detex 1041 (QM008)	50 g/L (5%)	5 a 10 min	1 a 3 min
		Surtec (sem ref.)				
S/ código (Frio)	18	ECLEAN RETPRO (QM145)		25 g/L (2.5%)		
Frequência de Mudança				1 x semana		

Procedimento		Registo de Manutenção	
Operação		Data	Responsável
1	Desligar as tinas		5/9 TIAL
2	Retirar a água existente nas tinas (se possível com recurso ao aspirador)		5/9 TIAL
3	Limpeza dos resíduos depositados no fundo das tinas e nas paredes		5/9 TIAL
4	Adicionar os produtos		5/9 TIAL
	Tina de água fria: ECLEAN RETPRO		
	Tina de água quente: Detex1040 ou Detex1041 + Surtec		5/9 TIAL
5	Encher as tinas com água		
6	Ligar a máquina e testar funcionamento do gerador de ultrassons		5/9 TIAL

**NOTA:** Entre manutenções e em caso de necessidade, limpar os resíduos que ficam à superfície das tinas.

Mod. DP 0.185

Figura 87 - Checklist da rotina de limpeza das tinas de lavagem da célula de montagem.

## Anexo 2 – Função de distribuição Normal Padrão

Tabela 53 - Função de distribuição normal padrão (Costa, 2019).

<b>z</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
<b>0,0</b>	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
<b>0,1</b>	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
<b>0,2</b>	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
<b>0,3</b>	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
<b>0,4</b>	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
<b>0,5</b>	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
<b>0,6</b>	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
<b>0,7</b>	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
<b>0,8</b>	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
<b>0,9</b>	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
<b>1,0</b>	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
<b>1,1</b>	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
<b>1,2</b>	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
<b>1,3</b>	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
<b>1,4</b>	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
<b>1,5</b>	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
<b>1,6</b>	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
<b>1,7</b>	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
<b>1,8</b>	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
<b>1,9</b>	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
<b>2,0</b>	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
<b>2,1</b>	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
<b>2,2</b>	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
<b>2,3</b>	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
<b>2,4</b>	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
<b>2,5</b>	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
<b>2,6</b>	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
<b>2,7</b>	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
<b>2,8</b>	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
<b>2,9</b>	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
<b>3,0</b>	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
<b>3,1</b>	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
<b>3,2</b>	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
<b>3,3</b>	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
<b>3,4</b>	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

### Anexo 3 – Carta Antropométrica

Dimensão antropométrica	População masculina				População feminina			
	5	50	95	dp	5	50	95	dp
1. Altura de pé	1565	1690	1815	76	1456	1565	1674	66
2. Altura dos olhos (rel. ao solo)	1463	1585	1707	74	1355	1465	1575	67
3. Altura do ombro (rel. ao solo)	1277	1395	1513	72	1181	1290	1399	66
4. Altura do cotovelo (rel. ao solo)	966	1050	1134	51	889	965	1041	46
5. Altura do punho (rel. ao solo)	664	735	806	43	619	685	751	40
6. Altura sentado (rel. ao assento)	818	920	1022	62	799	865	931	40
7. Distância olhos-assento	716	810	904	57	696	760	824	39
8. Distância ombro-assento	576	630	684	33	496	590	684	57
9. Distância cotovelo-assento	206	255	304	30	191	250	309	36
10. Espessura da coxa	134	180	226	28	124	165	206	25
11. Comprimento máximo da coxa	518	590	662	44	517	570	623	32
12. Distância coxa-popliteo	419	485	551	40	421	470	519	30
13. Altura do joelho (rel. ao solo)	459	525	591	40	434	480	526	28
14. Altura do popliteo (rel. ao solo)	347	400	453	32	327	365	403	23
15. Largura dos ombros (bideltóide)	426	475	524	30	379	445	511	40
16. Largura dos ombros (biacromial)	299	335	371	22	251	300	349	30
17. Largura das ancas	341	380	419	24	342	400	458	35
18. Espessura do peito (busto)	221	265	309	27	226	275	324	30
19. Espessura abdominal	204	260	316	34	201	260	319	36
20. Distância cotovelo-punho	320	350	380	18	292	320	348	17
21. Alcance funcional vertical (de pé)	1875	2030	2185	94	1719	1860	2001	86
22. Alcance funcional vertical (sentado)	1117	1250	1383	81	1071	1165	1259	57
23. Alcance funcional anterior	628	730	832	62	621	675	729	33
24. Altura lombar (rel. ao assento)	166	215	264	30	174	220	266	28
25. Peso (Kg)	57	75	93	11	49	65	81	10

Figura 88 - Carta Antropométrica (Barroso et al., 2005).