

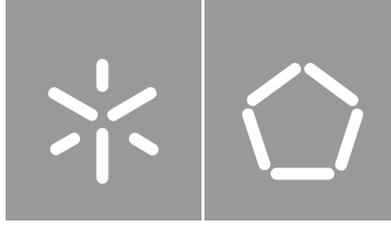


Duarte Filipe Sousa Oliveira

Melhoria de processos de produção de ferramentas metálicas de corte, através do uso de ferramentas Lean

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Duarte Filipe Sousa Oliveira

**Melhoria de processos de produção
de ferramentas metálicas de corte,
através do uso de ferramentas Lean**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação dos
Professor Doutor Nélon Bruno Martins Marques Costa
Professor Doutor Cristiano de Jesus

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-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Várias foram as pessoas que tornaram a realização desta dissertação possível, e a quem eu gostaria de agradecer.

Assim, começo por agradecer às pessoas na FREZITE que me acolheram, ao longo dos meses da realização da dissertação.

Agradeço ao Engenheiro Diogo, por todos os ensinamentos prestados, e por me ter dado a oportunidade de crescer com a empresa. Agradeço ao Engenheiro André Leite, por me ter mostrado e explicado, ao pormenor, como flui a informação e os processos, na FREZITE, e por ter estado sempre disponível para esclarecer qualquer tipo de dúvida acerca dos mesmos. Agradeço ao André Martins, por todas aquelas pequenas questões que me esclareceu, que acabaram por se revelar numa grande ajuda. Agradeço, também, ao Marcos e à Ana, pela disponibilidade mostrada para comigo, e por me mostrarem como funcionam, dentro de uma empresa, o Departamento de Qualidade e o Planeamento da Produção, respetivamente. Agradeço ao Élio, pela sua preocupação constante comigo, e com a forma como o projeto estava a decorrer.

E agradeço também a todos operadores do Centro de Maquinagem, pois, sem a envolvência que eles mostraram no projeto, sem a ajuda que me prestaram para melhorar o centro, e sem o comprometimento contínuo que apresentaram, o projeto não seria possível, nem aquilo que, com ele, se alcançou.

Depois, agradeço aos meus orientadores, professores Cristiano e Nélon, por todas as dicas que me deram, e por se mostrarem sempre disponíveis para esclarecer qualquer tipo de dúvida, de forma rápida e eficaz. Sem dúvida que as sugestões que foram dando ajudaram a dissertação a ficar muito mais rica em conteúdo.

Por último, quero agradecer à minha família, não deixando também de pedir desculpa. Agradeço a paciência, a motivação, o apoio, e o carinho demonstrado ao longo desta dissertação, e ao longo de todo o ciclo que termina, com a sua concretização. E peço desculpa pela ausência, em muitos momentos, a qual espero que seja recompensada agora que se fecha este ciclo.

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.

Melhoria de processos de produção de ferramentas metálicas de corte,
através do uso de ferramentas *Lean*

RESUMO

Com os mercados cada vez mais competitivos, a procura incerta e as expectativas elevadas dos clientes, as empresas sentem a necessidade de melhorar o seu desempenho, para atingir a excelência organizacional. Neste sentido, surge o *Lean Manufacturing*, uma metodologia que permite reduzir desperdícios, sem requisitos adicionais de recursos. Também a *Frezite Metal Tooling*, uma empresa que produz ferramentas metálicas de corte, sente essa necessidade. Desta forma, esta dissertação tem como objetivo a melhoria de um dos seus centros produtivos, através de ferramentas e princípios *Lean*.

Posto isto, foi seguida uma metodologia investigação-ação, com cinco fases principais: diagnóstico, planeamento de ações, implementação de ações, análise de resultados, e descobertas obtidas.

Por consequente, no centro produtivo alvo de análise, denominado Centro de Maquinagem, e constituído pelos centros de operações Torneamento – TORN50 - e Fresagem – distribuída pelos centros FRES50 e FRAM50 -, foram identificados e analisados os problemas para a diminuição da sua produtividade, recorrendo-se a ferramentas como *value stream mapping*, gráfico de análise do processo ou “5 Porquês”. Na fase posterior, foi definido um plano de ações, para cada um dos centros operativos do Centro de Maquinagem, para corrigir os principais problemas encontrados, através da ferramenta 5W2H, o qual continha melhorias como a implementação da ferramenta *Single Minute Exchange of Die*, alterações na estratégia de maquinação e implementação de um sistema de *pre-setting*.

Assim, com as melhorias aplicadas no Torneamento, o seu OEE parcial (resultado da multiplicação dos fatores “disponibilidade” e “qualidade” do OEE) revelou um ganho percentual de 20.89% (de 51.61% para 62.40%); e o *output* médio diário (valor monetário total das ferramentas que se produziram, em média, no centro, por dia) aumentou de 14131.06€ para 18236.37€, o que revela um ganho percentual de 29.05% na produtividade, e que resulta num ganho anual estimado de 981169.09€, neste centro.

Quanto à Fresagem, foi possível aumentar o OEE parcial, do FRES50, de 60.16% para 66.76%; e, no FRAM50, de 39.67% para 52.43%. Em geral, no centro de Fresagem, o *output* médio diário subiu de 13647.33€ para 17632.13€, o que revela um aumento percentual de 29.20% na produtividade, e que, de forma estimada, resulta num aumento de 952367.20€ no *output* total anual.

PALAVRAS-CHAVE

Lean Manufacturing, *Value Stream Mapping*, *Single Minute Exchange of Die*, Produtividade

Improvement of production processes for metal cutting tools,
through the use of Lean tools

ABSTRACT

The increasing market competitiveness, uncertain customer demand and increasingly high expectations, has pushed companies to constantly improve their performance to achieve organizational excellence. Lean Manufacturing methodology arises to help companies reducing waste, without additional resource requirements. Frezite Metal Tooling, a company that manufactures metal cutting tools, also feels this need. In consequence, this dissertation is carried out based on the improvement of one of its production centers, through Lean tools and principles.

Therefore, an action-research methodology was followed to operationalize the research plan described in this dissertation, which includes five main phases: diagnosis, action planning, actions implementation, results analysis, and findings identification.

Thus, in the analysed production center, named Machining Center, which is comprised of two operations centers: Turning center - TORN50 - and Milling center – split between the FRES50 and FRAM50 centers -, the problems for the reduction of its productivity were identified and analyzed, using tools such as value stream mapping, flow process chart or “5 Whys”.

Consequently, to solve the main found issues, an action plan was defined, through the 5W2H tool, for each of the Machining operating centers. Improvements such as the implementation of the Single Minute Exchange of Die tool, changes in the strategy of machining and implementation of a pre-setting system were applied.

Therefore, with the implemented measures on the Turning center, its partial OEE (result of multiplying the factors “availability” and “quality” of the OEE) revealed a percentage gain of 20.89% (from 51.61% to 62.40%); and the average daily output (total monetary value of the tools produced, on average, in the center, per day) increased from €14131.06 to €18236.37, which demonstrates a percentage gain of 29.05% in productivity, resulting in an estimated annual gain value of €981169.09 in this center.

In the case of the Milling center, it was possible to increase the partial OEE, of FRES50, from 60.16% to 66.76%; and, in the FRAM50, from 39.67% to 52.43%. In general, in the Milling center, the average daily output rose from €13647.33 to €17632.13, which shows a percentage increase of 29.20% in productivity, and results in an estimated increase of €952367.20 in the total annual output.

KEYWORDS

Lean Manufacturing, Value Stream Mapping, Single Minute Exchange of Die, Productivity

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xvii
Índice de Equações.....	xx
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Metodologia de Investigação.....	2
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 <i>Toyota Production System</i>	4
2.1.1 Tipos de desperdício.....	4
2.1.2 Casa TPS.....	5
2.2 <i>Lean Manufacturing</i>	6
2.2.1 Princípios do <i>Lean Thinking</i>	6
2.3 Ferramentas e métodos <i>Lean</i>	8
2.3.1 Indicadores-chave de desempenho.....	8
2.3.2 <i>Value Stream Mapping</i>	10
2.3.3 5S.....	11
2.3.4 Diagrama de <i>Spaghetti</i>	12
2.3.5 Diagrama de <i>Ishikawa</i>	13
2.3.6 5 Porquês.....	14
2.3.7 Ciclo PDCA.....	14
2.3.8 Gestão Visual.....	15
2.3.9 <i>Kanban</i>	15

2.3.10	<i>Single Minute Exchange of Die</i>	17
2.3.11	<i>Poka-yoke</i>	18
2.4	Outras ferramentas e métodos	19
2.4.1	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	19
2.4.2	Fluxograma	21
2.4.3	<i>Business Process Model and Notation</i>	21
2.4.4	Gráfico de análise do processo	22
2.4.5	Matriz ICE	23
2.4.6	5W2H	23
2.4.7	Matriz de competências.....	24
2.4.8	Sistemas de referênciação	24
2.5	Análise crítica.....	26
3.	Descrição da empresa	28
3.1	FREZITE – Ferramentas de Corte, S.A.	28
3.1.1	Missão da Empresa	28
3.1.2	Visão da Empresa.....	28
3.1.3	Valores da Empresa.....	28
3.2	<i>Frezite Metal Tooling</i>	29
3.2.1	Clientes da FMT	30
3.2.2	Produtos finais da FMT	30
3.2.3	Sistema de produção da FMT	31
3.2.4	Estrutura hierárquica da FMT.....	33
3.2.5	Principais <i>softwares</i> utilizados pela empresa	34
3.2.6	Medidas de desempenho monitorizadas pela empresa	36
4.	Análise e diagnóstico do processo produtivo	37
4.1	Descrição da área do aço	37
4.2	<i>Layout</i> do Centro de Maquinagem	38
4.3	Análise ao desempenho do Centro de Maquinagem	40
4.3.1	Produtividade da Fresagem, até ao início do projeto	41

4.3.2	Produtividade do Torneamento, até ao início do projeto	42
4.3.3	<i>Output</i> médio diário da Fresagem de construção soldada, até ao início do projeto	42
4.3.4	<i>Output</i> médio diário da Fresagem de aperto mecânico, até ao início do projeto.....	43
4.4	Mapeamento do fluxo de valor	44
4.4.1	Análise da família de ferramentas mais vendida, em 2021	44
4.4.2	<i>Value Stream Mapping</i> do Centro de Maquinagem	46
4.5	Descrição dos processos pertencentes ao Centro de Maquinagem	49
4.5.1	Etapas do Torneamento.....	50
4.5.2	Etapas da Furação.....	54
4.5.3	Etapas da Fresagem de construção soldada.....	55
4.6	Análise aos problemas do Torneamento	58
4.6.1	Problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento	58
4.6.2	Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, no Torneamento.....	61
4.6.3	Distribuição do tempo de <i>setup</i> que afeta a disponibilidade, no Torneamento	62
4.6.4	Causas-raiz dos problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento	63
4.6.5	Estratégia de maquinação.....	65
4.6.6	Problema de Furação	67
4.7	Análise aos problemas da Fresagem de construção soldada	68
4.7.1	Problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem.....	68
4.7.2	Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, na Fresagem de CS... ..	70
4.7.3	Distribuição do tempo de <i>setup</i> que afeta a disponibilidade, na Fresagem de CS.....	72
4.7.4	Causas-raiz dos problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de CS	73
4.7.5	Tempo de maquinação após término do turno, nas máquinas de Fresagem de CS	74
4.8	Análise aos problemas da Fresagem de aperto mecânico.....	75
4.8.1	Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, na Fresagem de APM	76
4.8.2	Distribuição do tempo de <i>setup</i> que afeta a disponibilidade, na Fresagem de APM	77
4.8.3	Tempo de maquinação após término do turno, nas máquinas de Fresagem de APM ..	77

4.9	Análise às movimentações dos operadores do Centro de Maquinagem.....	77
5.	Plano de ações	80
5.1	Plano de ações de melhoria do Torneamento.....	80
5.1.1	Análise ICE aos problemas menores do Torneamento	80
5.1.2	5W2H para os problemas principais do Torneamento.....	82
5.1.3	Plano de implementação de SMED no Torneamento	84
5.2	Plano de ações de melhoria da Fresagem.....	86
5.2.1	Análise ICE aos problemas menores da Fresagem	86
5.2.2	5W2H para os problemas principais da Fresagem.....	88
5.2.3	Plano de implementação de SMED na Fresagem	90
5.2.4	Plano de implementação de sistema de <i>pre-setting</i>	93
5.3	Plano de ações de melhoria do <i>layout</i> do Centro de Maquinagem	93
6.	Implementação de melhorias	96
6.1	Mudança do <i>layout</i> do Centro de Maquinagem	96
6.2	Implementação de melhorias no Torneamento	97
6.2.1	Procedimento de priorização de atuação em máquinas	97
6.2.2	Mecanismo de limpeza dos apertos das máquinas.....	97
6.2.3	Reformulação do envio de cotas, por parte do Departamento de Desenho	97
6.2.4	Organização do “tapete” de carga.....	98
6.2.5	Alteração da estratégia de maquinação	98
6.2.6	SMED.....	99
6.2.7	Melhorias não implementadas no Torneamento	101
6.3	Implementação de melhoria na Furação	103
6.4	Implementação de melhorias na Fresagem.....	103
6.4.1	Macros para Programação.....	103
6.4.2	Contratação de novo funcionário.....	106
6.4.3	Reformulação do envio de cotas, por parte do Departamento de Desenho	106
6.4.4	SMED.....	106
6.4.5	Programa para planeamento, por máquina	110

6.4.6	Sistema de <i>pre-setting</i>	115
6.4.7	Melhorias não implementadas na Fresagem	120
6.5	<i>Dashboard</i> para análise da disponibilidade	122
7.	Análise dos resultados obtidos com as melhorias	124
7.1	Resultados obtidos com cada melhoria, no Torneamento.....	124
7.1.1	Alteração da estratégia de maquinação.....	124
7.1.2	SMED.....	125
7.2	Impacto estimado, nos indicadores-chave de desempenho do Torneamento.....	126
7.3	Impacto obtido, nos indicadores-chave de desempenho do Torneamento	131
7.3.1	Impacto obtido, no OEE parcial do Torneamento	131
7.3.2	Impacto obtido, no <i>output</i> médio diário e na produtividade do Torneamento	132
7.4	Resultados obtidos com cada melhoria, na Fresagem	133
7.4.1	Macros na Programação.....	134
7.4.2	Sistema de Etiquetagem	134
7.4.3	SMED.....	135
7.5	Impacto estimado, nos indicadores-chave de desempenho da Fresagem.....	136
7.6	Impacto obtido, nos indicadores-chave de desempenho da Fresagem	139
7.6.1	Impacto obtido, no OEE parcial da Fresagem	139
7.6.2	Impacto obtido, no <i>output</i> médio diário e na produtividade da Fresagem	139
8.	Conclusões.....	142
8.1	Considerações finais	142
8.2	Trabalho futuro	143
	Referências Bibliográficas	145
	Anexo I – Ferramentas e elementos pertencentes ao Centro de Maquinagem	150
	Apêndice I – Fluxo de processos associado à produção de uma ferramenta com corpo em aço	152
	Apêndice II – Disponibilidade das máquinas de Torneamento e Fresagem, antes de implementação de melhorias	153
	Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento.....	154
	Apêndice IV – Gráfico de análise de processo da Furação	162

Apêndice V – Gráfico de análise de processo da Fresagem de CS.....	163
Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas	165
Apêndice VII – Registo de tempos de maquinação após término do turno, na Fresagem	167
Apêndice VIII – Diagrama de <i>Spaghetti</i> do CM.....	168
Apêndice IX – Folhas de preparação de trabalho e prioridade de atuação nas máquinas do Torneamento	169
Apêndice X – LS e procedimentos operacionais criados ao longo do projeto	170
Apêndice XI – Matriz de competências para o <i>pre-setting</i>	172
Apêndice XII – BPMN do processo inerente ao <i>pre-setting</i>	173
Apêndice XIII – Ganhos obtidos, no TC do Torneamento, com a alteração da estratégia de maquinação	174
Apêndice XIV – Ganhos estimados nos indicadores do Torneamento, para cada melhoria.....	175
Apêndice XV – Ganhos estimados nos indicadores da Fresagem, para cada melhoria.....	178
Apêndice XVI – Evolução do <i>output</i> médio diário do FRES50 e do FRAM50, até ao final da dissertação	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Casa TPS (adaptado de Liker (2004)).....	5
Figura 2. Símbolos de processo do VSM (Jasti & Sharma, 2015).....	10
Figura 3. Símbolos de material do VSM (Jasti & Sharma, 2015).....	10
Figura 4. Formato do diagrama de <i>Ishikawa</i>	13
Figura 5. Funcionamento de um sistema <i>kanban</i> (adaptado de Pillet et al. (2003)).....	16
Figura 6. Etapas de implementação de SMED (Pellegrini et al., 2012).	18
Figura 7. Definição de tempos para cálculo do OEE (adaptado de Nakajima (1988)).....	19
Figura 8. Exemplo de fluxograma (Kirchmer et al., 2019).	21
Figura 9. Elementos básicos do BPMN (Freund & Rücker, 2019).....	22
Figura 10. Exemplo de código de referência direta com significado.	25
Figura 11. Exemplo de código de referência direta com algum significado.	26
Figura 12. Unidades Estratégicas de Negócio da FREZITE.	29
Figura 13. Evolução da FMT.	30
Figura 14. Exemplos de produtos finais da FMT. a) Fresa em aço; b) Fresa em metal duro com cortantes em PCD; c) Broca em metal duro.	31
Figura 15. <i>Layout</i> da FMT, com as várias áreas associadas.....	31
Figura 16. Estrutura hierárquica da FMT.....	34
Figura 17. Relatórios presentes no <i>Autoflow</i>	35
Figura 18. Ficheiro para preencher, no <i>NARUM</i> , em caso de NC.....	35
Figura 19. <i>Layout</i> do CM, no início do projeto.	39
Figura 20. <i>Output</i> médio diário do CM até ao início do projeto.....	41
Figura 21. <i>Output</i> médio diário do TORN50 até ao início do projeto.....	42
Figura 22. <i>Output</i> médio diário do FRES50 até ao início do projeto.....	43
Figura 23. <i>Output</i> médio diário do FRAM50 até ao início do projeto.....	44
Figura 24. Distribuição de vendas de famílias no CM, em termos de quantidade, em 2021.	44
Figura 25. Distribuição de vendas de famílias no CM, em termos de valor monetário, em 2021.....	45
Figura 26. Exemplos de ferramentas da família E991.....	45
Figura 27. VSM do estado do CM, no início do projeto.....	48
Figura 28. Exemplo de transformação ocorrida no Torneamento, numa ferramenta da família E991..	50
Figura 29. Exemplo de transformação ocorrida na Furação, numa ferramenta da família E991.....	54

Figura 30. Exemplo de transformação ocorrida na Fresagem de CS, numa ferramenta da família E991.	55
Figura 31. Imperfeições resultantes da fresagem, que são retiradas com rebarbagem.	57
Figura 32. Diagrama de <i>Ishikawa</i> relativo à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento.	59
Figura 33. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento.	61
Figura 34. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade da máquina TN-0015.	62
Figura 35. Distribuição do <i>setup</i> , que origina paragens das máquinas de Torneamento.	63
Figura 36. Limalhas acumuladas na TN-0015.	65
Figura 37. Parte de desbaste à face, num programa de Torneamento, com estratégia de maquinação utilizada, no início do projeto.	66
Figura 38. Parte de desbaste ao diâmetro, no Torneamento, com estratégia de maquinação utilizada, no início do projeto.	66
Figura 39. Esboço de estratégia de maquinação, no início do projeto.	66
Figura 40. Esboço de estratégia de maquinação mais eficiente do que a utilizada no início do projeto.	67
Figura 41. Marcação do tamanho da broca para furação.	67
Figura 42. Corte no desenho de ferramenta comprida.	68
Figura 43. Diagrama de <i>Ishikawa</i> relativo à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem.	68
Figura 44. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de construção soldada.	71
Figura 45. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade da máquina CM-0006.	72
Figura 46. Distribuição do <i>setup</i> , que origina paragens das máquinas de Fresagem de construção soldada.	73
Figura 47. Exemplo de ferramenta produzida na Fresagem de aperto mecânico, e elementos controlados.	75
Figura 48. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de aperto mecânico.	76
Figura 49. Distribuição do <i>setup</i> , que origina paragens das máquinas de Fresagem de aperto mecânico.	77
Figura 50. Gavetas das brocas e das pinças, no início do projeto.	82
Figura 51. Forma de colocação das caixas no “Tapete TN”, no início do projeto.	82

Figura 52. Novo <i>layout</i> do CM.....	96
Figura 53. Cone fêmea de limpeza de apertos HSK.....	97
Figura 54. Alteração no "tapete" de carga do Torneamento.....	98
Figura 55. Exemplos de aplicação de estratégia de maquinação eficiente, em ferramentas com diâmetro de topo pequeno.	99
Figura 56. Alteração na conceção do programa de Torneamento no PC.	100
Figura 57. Macros implementadas na programação do Torneamento.	100
Figura 58. Pós-processador criado para a máquina TN-0016.....	101
Figura 59. Gavetas das brocas e das pinças organizadas.	101
Figura 60. Acessório de troca de ferramentas necessário para o TORN50.	102
Figura 61. Régua implementada para medição de brocas.	103
Figura 62. Dados de inserção, para execução da macro dos patins.	104
Figura 63. Definição do indicador "Implementação" para macros na Programação.....	105
Figura 64. Ciclo PDCA para implementação de macros na Programação.....	105
Figura 65. Base de dados de ferramentas <i>standard</i> da máquina CM-0014.	107
Figura 66. Utilização de lanterna para verificar furos de lubrificação das ferramentas.	107
Figura 67. Quadro de etiquetas da máquina CM-0014.	108
Figura 68. <i>Buffer</i> de fitas magnéticas.....	109
Figura 69. Processo de colagem de etiqueta na fita magnética.....	109
Figura 70. Quadros de etiquetas presentes nas máquinas de Fresagem.	109
Figura 71. Ferramentas de maquinação colocadas no carrinho, com etiquetas.....	110
Figura 72. Menu do Programa de Planeamento do CM.	111
Figura 73. Mensagem exibida, no programa de Planeamento, para um turno que termina com a maquinação da 1ª ferramenta de uma OF.	112
Figura 74. Mensagem exibida, no programa de Planeamento, para um turno que termina com a maquinação de uma ferramenta, que não a 1ª, de uma OF.	113
Figura 75. Definição do “tempo livre” planeado associado a um dia de Fresagem.	114
Figura 76. Distribuição do tempo de Fresagem de um dia, com otimização do “tempo livre” e de maquinação após término do turno.....	114
Figura 77. Folha "Planeamento", do programa de planeamento do CM.....	115
Figura 78. Carrinhos semelhantes aos de abastecimento das máquinas de Fresagem.....	117
Figura 79. Movimentações dos carrinhos de abastecimento.	118

Figura 80. Ficheiro que contém os dados das encomendas em <i>buffer</i> no CM.	119
Figura 81. Códigos para cada campo das designações das ferramentas de maquinação.	121
Figura 82. Estrutura para designação de ferramentas de maquinação.	121
Figura 83. Exemplo de designação de ferramenta de maquinação.	121
Figura 84. <i>Dashboard</i> para análise da disponibilidade no CM.	123
Figura 85. Evolução do <i>output</i> médio diário do Torneamento, até ao final da dissertação.	132
Figura 86. Evolução do <i>output</i> médio diário da Fresagem, até ao final da dissertação.	140
Figura 87. Exemplos de apertos de ferramentas de maquinação.	150
Figura 88. Exemplos de ferramentas de maquinação.	150
Figura 89. Exemplos de apertos das máquinas.	150
Figura 90. Torreta de uma máquina, com ferramentas de maquinação.	151
Figura 91. Exemplos de grampos.	151
Figura 92. Utensílios do Centro de Maquinagem. a) Padrão; b) Comparador; c) Altímetro.	151
Figura 93. Fluxograma de processo de produção de ferramentas com corpo em aço.	152
Figura 94. Média do tempo de maquinação após término do turno, por máquina, na Fresagem.	167
Figura 95. Diagrama de <i>Spaghetti</i> , das movimentações no CM, no início do projeto.	168
Figura 96. Legenda do diagrama de <i>Spaghetti</i> do CM, no início do projeto.	168
Figura 97. Documento de preparação de trabalho, e prioridade de atuação nas máquinas de Torneamento.	169
Figura 98. Documento de preparação de trabalho para a Fresagem.	169
Figura 99. LS criada para envio de cotas necessárias pelo Dpt de Desenho.	170
Figura 100. Procedimento operacional criado para implementação do novo sistema de etiquetagem.	170
Figura 101. Procedimento operacional para recolher tempos de maquinação, e registar no <i>dashboard</i> de disponibilidade.	171
Figura 102. Legenda da matriz de competências para <i>pre-setting</i>	172
Figura 103. BPMN do processo inerente ao <i>pre-setting</i>	173
Figura 104. Evolução do <i>output</i> médio diário do FRES50, até ao final da dissertação.	183
Figura 105. Evolução do <i>output</i> médio diário do FRAM50, até ao final da dissertação.	183

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das etapas do ciclo PDCA (adaptado de Rother (2010)).	15
Tabela 2. "Seis grandes perdas" associadas ao OEE (adaptado de Nakajima (1988)).	20
Tabela 3. Elementos de um gráfico de análise do processo.	23
Tabela 4. Características das máquinas de Fresagem.	40
Tabela 5. "5 Porquês" para as principais causas que resultam na baixa disponibilidade no Torneamento.	64
Tabela 6. "5 Porquês" para os problemas que resultam na baixa disponibilidade da Fresagem.	74
Tabela 7. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores do Torneamento, que resultam em paragens de máquinas.	81
Tabela 8. Plano de ações para o Torneamento, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).	83
Tabela 9. Plano de ações para o Torneamento, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).	84
Tabela 10. Plano SMED para o Torneamento (1ª parte).	85
Tabela 11. Plano SMED para o Torneamento (2ª parte).	86
Tabela 12. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores da Fresagem de CS, que resultam em paragens de máquinas.	87
Tabela 13. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores da Fresagem de APM, que resultam em paragens de máquinas.	88
Tabela 14. Plano de ações para a Fresagem, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).	89
Tabela 15. Plano de ações para a Fresagem, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).	90
Tabela 16. Plano SMED para a Fresagem (1ª Parte).	91
Tabela 17. Plano SMED para a Fresagem (2ª Parte).	92
Tabela 18. Plano de implementação de sistema de <i>pre-setting</i> .	93
Tabela 19. Plano de ações para a reconfiguração do <i>layout</i> do CM, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).	94
Tabela 20. Plano de ações para a reconfiguração do <i>layout</i> do CM, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).	95
Tabela 21. Dados utilizados para o cálculo do número de carrinhos de abastecimento de ferramentas de maquinação.	117
Tabela 22. Análise à diminuição do tempo de <i>setup</i> , por OF, com as melhorias implementadas e futuras do Torneamento.	126

Tabela 23. KPI estimados e respectivos ganhos percentuais, para o Torneamento.	131
Tabela 24. Variação real, nos parâmetros do OEE do Torneamento, no final da dissertação.	132
Tabela 25. Variação real, nos KPI do Torneamento, no final da dissertação.	133
Tabela 26. Análise à diminuição do tempo de <i>setup</i> , por OF, com as melhorias implementadas na Fresagem.	135
Tabela 27. Análise à diminuição do tempo de <i>setup</i> , por OF, com as melhorias futuras da Fresagem.	136
Tabela 28. KPI estimados e respectivos ganhos percentuais, para a Fresagem.	138
Tabela 29. Variação real, nos parâmetros do OEE da Fresagem, no final da dissertação.	139
Tabela 30. Variação real, nos KPI da Fresagem, no final da dissertação.	141
Tabela 31. Disponibilidade das máquinas do CM, antes da implementação de melhorias.	153
Tabela 32. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (1ª parte).	154
Tabela 33. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (2ª parte).	155
Tabela 34. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (3ª parte).	156
Tabela 35. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (4ª parte).	157
Tabela 36. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (5ª parte).	158
Tabela 37. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (6ª parte).	159
Tabela 38. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (7ª parte).	160
Tabela 39. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (8ª parte).	161
Tabela 40. Gráfico de análise do processo de Furação, da família E991.	162
Tabela 41. Gráfico de análise do processo de Fresagem de CS, da família E991 (1ª parte).	163
Tabela 42. Gráfico de análise do processo de Fresagem de CS, da família E991 (2ª parte).	164
Tabela 43. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no TORN50.	165
Tabela 44. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no FRES50.	165
Tabela 45. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no FRAM50.	166
Tabela 46. Análise aos tempos de maquinação após término de turno, na Fresagem.	167
Tabela 47. Matriz de competências para <i>pre-setting</i>	172
Tabela 48. Ganhos de TC do Torneamento obtidos com alteração de estratégia de maquinação.	174
Tabela 49. KPI do TORN50, no início do projeto.	175
Tabela 50. Ganhos estimados nos indicadores do TORN50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.	176
Tabela 51. Ganhos estimados nos indicadores do TORN50, para cada melhoria futura.	177

Tabela 52. KPI do FRES50, no início do projeto.	178
Tabela 53. KPI do FRAM50, no início do projeto.....	178
Tabela 54. Ganhos estimados nos indicadores do FRES50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.....	179
Tabela 55. Ganhos estimados nos indicadores do FRES50, para cada melhoria futura.	180
Tabela 56. Ganhos estimados nos indicadores do FRAM50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.....	181
Tabela 57. Ganhos estimados nos indicadores do FRAM50, para cada melhoria futura.....	182

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1. Fórmula de cálculo do <i>takt time</i>	8
Equação 2. Lei de <i>Little</i>	9
Equação 3. Fórmula de cálculo do número de <i>kanbans</i> necessários.....	16
Equação 4. Fórmulas de cálculo dos parâmetros do OEE. (1) Disponibilidade; (2) Velocidade; (3) Qualidade.....	20
Equação 5. Fórmula de cálculo da medida de desempenho " <i>output</i> diário".....	36
Equação 6. Fórmula de cálculo da medida de desempenho "percentagem de NC".....	36
Equação 7. Fórmula de cálculo da medida de desempenho "nível de serviço".....	36
Equação 8. Produtividade na Fresagem, antes do início do projeto.....	41
Equação 9. Produtividade no Torneamento, antes do início do projeto.....	42
Equação 10. Fórmula de cálculo da percentagem de valor acrescentado.....	48
Equação 11. Percentagem de valor acrescentado no PT do Torneamento.....	48
Equação 12. Percentagem de valor acrescentado no PT de Fresagem de CS.....	49
Equação 13. <i>Takt Time</i> do PT de Torneamento.....	49
Equação 14. <i>Takt Time</i> do PT de Fresagem de CS.....	49
Equação 15. Tempo de <i>setup</i> médio da operação de Furação, para uma ferramenta da família E991.	54
Equação 16. Tempo de <i>setup</i> médio para a Fresagem de construção soldada, para uma ferramenta da família E991.....	56
Equação 17. Índice de capacidade de preparação.....	116
Equação 18. Perda de disponibilidade, por problema para paragem de máquinas.....	127
Equação 19. Ganho estimado de disponibilidade, com melhoria numa operação pertencente a um grupo de operações.....	128
Equação 20. Ganho estimado de disponibilidade, consoante percentagem de eliminação de problema.	129
Equação 21. Estimativa do aumento dos indicadores de <i>output</i> , por melhoria implementada, com base no ganho de disponibilidade.	129

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

APM – Aperto Mecânico
BPMN – *Business Process Model and Notation*
CE – Capitão de Equipa
CM – Centro de Maquinagem
CNC – *Computer Numerical Control*
CS – Construção Soldada
Disp - Disponibilidade
Dpt – Departamento
Ferr - Ferramenta
FMT – *Frezite Metal Tooling*
FRAM50 – Centro de operações de Fresagem de aperto mecânico
FRES50 – Centro de operações de Fresagem de construção soldada
GAP – Gráfico de análise do processo
h – Horas
H – Homem
JIT – *Just-in-time*
KBI – *Key Behavior Indicator*
KPI – *Key Performance Indicator*
LM – *Lean Manufacturing*
LS – Lição singular
LT – *Lead time*
Maq - Maquinação
min – Minutos
MP – Matéria-prima
NC – Não conformidade
OEE – *Overall Equipment Effectiveness*
OF – Ordem de fabrico
Op - Operação
PCD – Diamante policristalino
Pç – Peça

PT – Posto de trabalho

Qtd - Quantidade

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

TMATT – Tempo médio diário de maquinação, após término do turno

TORN50 - Centro de operações de Torneamento

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

UEN – Unidades estratégicas de negócio

VBA – *Visual Basic for Applications*

VSM – *Value Stream Mapping*

WIP – *Work-in-process*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será realizado o enquadramento deste projeto, divulgados os objetivos que se pretendem atingir com ele, a metodologia de investigação utilizada para realizar esta dissertação, e a estrutura que ela seguirá.

1.1 Enquadramento

Com os mercados a crescerem rapidamente e cada vez mais competitivos (Jastia & Kodali, 2015), as empresas de produção sentem a necessidade de alcançar a excelência operacional, ser mais sustentáveis e melhorar o desempenho, diminuindo, simultaneamente, os custos de produção e garantindo produtos de qualidade em menores prazos (Belekoukias et al., 2014; Jabbour et al., 2013). Para atingir esses objetivos, surge o *Lean Manufacturing* (LM), uma metodologia que consegue reduzir desperdícios sem requisitos adicionais de recursos (Chauhan & Singh, 2013). Assim, permite aumentar a produtividade, melhorar a qualidade e reduzir prazos de entrega, reduzindo, também, custos de produção (Panwar et al., 2015).

Posto isto, uma empresa que também tem crescido ultimamente é a FREZITE, ou mais especificamente, a *Frezite Metal Tooling* (FMT), responsável pela produção de ferramentas metálicas de corte. Devido a esse crescimento, é obrigada a reajustar regularmente os seus vários setores e processos, para que possa satisfazer os clientes, conferindo-lhes diferenciação.

Nesse sentido, surge a necessidade de investigar quais as melhores soluções em termos de abordagem de gestão, metodologia e ferramentas a aplicar nesta empresa, com foco em LM, para que consiga melhorar os seus processos e, assim, responder eficientemente aos pedidos dos clientes, aumentando a produtividade e diminuindo os custos de produção.

1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal a melhoria dos processos operacionais e organizacionais de um centro produtivo da empresa FMT - responsável pela produção de ferramentas metálicas de corte -, por meio da abordagem *Lean Manufacturing* (LM), de modo a melhorar a produtividade geral do processo. Para tal objetivo, é necessário seguir algumas fases, tais como:

- Analisar o fluxo produtivo do centro produtivo em questão, com vista a identificar oportunidades de melhoria nos processos;

- Identificar os principais desperdícios em cada processo associado a esse centro produtivo;
- Analisar as ferramentas *Lean* (VSM, 5S, SMED, entre outras), para selecionar as mais adequadas para a análise e melhoria dos processos;
- Apresentar propostas de melhoria focadas nos pontos críticos dos processos e nas ferramentas anteriormente identificadas, com vista a otimizar o fluxo produtivo;
- Analisar os resultados obtidos após a implementação das propostas de melhoria.

1.3 Metodologia de Investigação

Em relação à metodologia de investigação, a revisão realizada começa por ser teórica, apresentando os diversos conceitos associados a *Lean Manufacturing* (LM), para depois tomar um carácter metodológico, pois compara diferentes metodologias de implementação de LM.

Para essa análise, os dados recolhidos são provenientes de fontes secundárias – livros e artigos presentes em *journals*, essencialmente - e terciárias (ferramentas de pesquisa) – “*Web of Science*”, “*Scopus*” e “*RepositóriUM*”. Nesta última ferramenta de pesquisa, são consultadas dissertações, sendo estas fontes primárias.

Para operacionalizar o plano de investigação, é necessário seguir uma metodologia Investigação-Ação, essencialmente porque será necessário o envolvimento de todos os colaboradores para se alcançarem os objetivos. Além disso, o processo de diagnóstico terá uma natureza iterativa até se obterem os melhores resultados. E, mais uma das razões para se seguir esta metodologia, é o facto de serem definidas mudanças na organização e métodos de trabalho da empresa, para se alcançarem os objetivos propostos (Sedlmair et al., 2012; Wittmayer & Schöpke, 2014).

Esta estratégia engloba cinco fases (Mathiassen et al., 2018):

- Diagnóstico (identificação do problema, recolha e análise de dados);
- Planeamento de ações (análise de possíveis soluções e definição de um plano de ações);
- Implementação das ações (realização do plano de ações definido na etapa anterior);
- Avaliação (recolha e análise de resultados);
- Especificação da aprendizagem (identificação de descobertas).

Para cumprir com estas fases, proceder-se-á essencialmente a análise documental e observação.

Quanto aos dados utilizados, estes serão primários - recolhidos pelo investigador - e secundários - fontes referidas anteriormente e dados já recolhidos pela empresa.

1.4 Estrutura da dissertação

Relativamente à estrutura, esta dissertação divide-se em 8 capítulos:

- Capítulo 1: Introdução. Neste capítulo, é abordada a razão para a realização deste projeto, os objetivos que se pretendem atingir com ele, e a metodologia de investigação utilizada para realizar esta dissertação.
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica. Aqui, são expressos vários fundamentos, já explorados a nível bibliográfico, que foram úteis para a realização da dissertação, e do projeto.
- Capítulo 3: Descrição da empresa. Neste capítulo, é descrita a empresa onde o projeto é realizado, indicando a sua evolução ao longo dos anos, os seus processos e produtos, e outros elementos importantes relativos à sua forma de trabalho.
- Capítulo 4: Análise e diagnóstico do processo produtivo. Aqui, é descrito o estado da empresa, e do centro produtivo alvo de análise, no início do projeto, para que fossem identificados os principais problemas nele presentes, que baixavam a sua produtividade.
- Capítulo 5: Plano de ações. Com base nos problemas identificados, é neste capítulo que são definidas as melhorias, que deveriam ser implementadas, para diminuir ou eliminar esses problemas.
- Capítulo 6: Implementação de melhorias. Neste capítulo, são exploradas as melhorias implementadas, para correção dos problemas identificados na análise de diagnóstico do sistema produtivo.
- Capítulo 7: Análise dos resultados obtidos com as melhorias. Este capítulo analisa os ganhos, ou perdas, obtidos com as melhorias implementadas, e também os ganhos previstos, para as melhorias que ficaram por implementar.
- Capítulo 8: Conclusão. Por último, este capítulo descreve, de forma sucinta, os ganhos que se obtiveram com o projeto, as dificuldades encontradas para a sua concretização, e o trabalho futuro, para a empresa continuar a evoluir.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão expressos vários fundamentos, já explorados a nível bibliográfico, que foram úteis para a realização da dissertação, e do projeto.

2.1 *Toyota Production System*

No final da 2ª Guerra Mundial, no Japão, a indústria automóvel japonesa encontrava-se em decadência, pois a guerra havia-lhe tirado o poder de compra, não podendo, por isso, competir com as empresas de outros países, devido à escassez de recursos materiais, humanos e financeiros (Ohno, 1988).

Sendo assim, era necessário evoluir os seus processos, de forma a diminuir os custos a eles associados, e aumentar a satisfação dos clientes. Assim, a empresa japonesa *Toyota* tenta começar por basear-se na empresa americana *Ford*, uma vez que esta última estava a apresentar grandes resultados, com o seu modelo de produção em massa (Ohno, 1988).

Contudo, Ohno e Toyoda percebem, depois, que aquela forma de produção não era a mais eficaz para a indústria japonesa, uma vez que os clientes procuravam, cada vez mais, produtos customizados (J. P. Womack et al., 1990).

Posto isto, de forma a alcançar a máxima qualidade, reduzir os custos de produção, e melhorar o fluxo de produção, ganhando assim vantagens, em termos de competitividade, em relação às restantes empresas, é desenvolvido o *Toyota Production System* (TPS). Shingo (1989) resume o TPS em “uma redução de custos através da eliminação de desperdícios”.

2.1.1 Tipos de desperdício

Em relação à eliminação de desperdícios anteriormente mencionada, estes podem estar associados a três causas diferentes: atividades que consumam recursos sem acrescentar valor para o cliente - “Muda” -, irregularidade nas operações, como o desnivelamento do trabalho - “Mura” -, ou então sobrecarga de equipamentos e operadores - “Muri” (Goshime et al., 2019).

Assim, dentro dos desperdícios classificados como “Muda”, Ohno (1988) separa-os em 7 tipos:

- Transportes: movimentações de materiais, produtos e informação.
- Inventário: matéria-prima (MP), *work-in-process* (WIP) ou produto acabado em excesso.
- Movimentações: atividades em que o operário se movimenta desnecessariamente, sem adicionar valor ao produto final.

- Esperas: períodos em que informação, bens ou pessoas estão paradas, sem se estar a acrescentar valor ao produto para o cliente.
- Processamento excessivo: processos e atividades que o cliente não está disposto a pagar. Além disso, estes processos e atividades podem aumentar a ocorrência de defeitos nos produtos para o cliente (Lacerda et al., 2016).
- Defeitos: problemas de qualidade que poderão resultar em reclamações por parte do cliente.
- Sobreprodução: produção de artigos, superando as necessidades, ou seja, produção excessiva, produção mais cedo que o necessário ou produção mais rápida do que o necessário. Monden (1998) refere este como o maior desperdício, uma vez que resulta em todos os outros.

Liker (2004) refere ainda um oitavo desperdício relacionado com o não aproveitamento da capacidade humana, como, por exemplo, não ouvir as propostas de melhoria dos colaboradores.

2.1.2 Casa TPS

O TPS, que se caracteriza como um sistema integrado de produção que consegue gerar produtos para satisfazer os pedidos dos clientes, em termos de quantidade e variedade, com o mínimo de recursos possíveis (Yin et al., 2018), tem como base alguns princípios. Assim, para demonstrar esses princípios, surge a casa TPS, uma vez que, tal como uma casa, o TPS também é um sistema estruturado (Liker, 2004). A casa TPS pode ser vista na Figura 1.

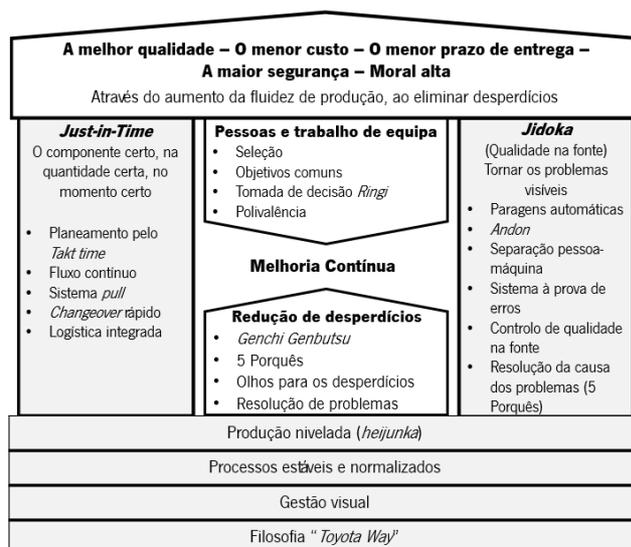


Figura 1. Casa TPS (adaptado de Liker (2004)).

Como se pode verificar, a casa TPS apresenta, no telhado, os objetivos do TPS; os seus dois pilares, ou seja, o suporte do TPS, são o *Just-in-Time* (JIT) e o *Jidoka*; no seu centro, estão as pessoas; e, na base

da casa, estão os elementos fundamentais, que incluem processos estáveis e normalizados, produção nivelada, quer a nível de volume, como de variedade, o que permite manter o inventário com valores mínimos (Liker, 2004).

Just-in-Time

Um dos pilares da casa TPS é o JIT. Por isso, torna-se importante definir este conceito. A produção *just-in-time* relaciona-se com a entrega de produtos, na quantidade correta, no local correto, e no momento correto. Para isso, o sistema *one-piece-flow* é o ideal, ou seja, o fluxo de produção peça-a-peça (Liker, 2004). Contudo, Carvalho (2021) apresenta alguns problemas para não se alcançar este fluxo, e dificuldades para atingir uma produção JIT: equipamentos que produzem várias peças de uma única vez; mudanças demoradas de peças em máquinas, que obrigam à produção em lotes, para colmatar o tempo perdido de produção; e distâncias entre máquinas, que obrigam a criar lotes de transferência.

Depois, um conceito importante ligado ao JIT é o *takt time* (Abdulmalek & Rajgopal, 2007), o qual será explorado mais à frente neste capítulo.

Jidoka

O outro pilar da casa TPS denomina-se *jidoka*. Meier & Liker (2006) descrevem este termo como a necessidade de nunca deixar um defeito passar para o posto seguinte, não sendo necessária a presença de pessoas nas máquinas. Desta forma, as máquinas devem estar providas de mecanismos que permitam identificar qualquer erro no produto, parando imediatamente o processo, quando este acontecer (Romero et al., 2019).

2.2 Lean Manufacturing

O conceito de *Lean Manufacturing* (LM), *Lean Production*, ou simplesmente *Lean*, surge associado ao TPS (Ohno, 1988). Segundo Goshime et al. (2019), o *Lean Manufacturing* (LM) surgiu, pois as empresas necessitavam de ferramentas otimizadas para se manterem competitivas, tendo em conta a procura incerta dos seus clientes e as expectativas cada vez mais altas em relação aos produtos que compravam. E, por isso, o *Lean* caracteriza-se por “fazer mais com menos”, disponibilizando um largo conjunto de mecanismos para o conseguir (Deif & Elmaraghy, 2014).

2.2.1 Princípios do *Lean Thinking*

J. Womack & Jones (1996) descrevem que os desperdícios “*muda*” estão por toda a parte numa empresa, contudo, existe um poderoso antídoto para os eliminar: o *Lean Thinking*. Este tipo de pensamento contempla uma série de princípios, que ajudam a determinar se um comportamento é

adequado ou não, e ajudam ainda a escolher as melhores ferramentas para atuar perante um determinado problema numa empresa (Carvalho, 2021).

Identificar valor

O primeiro princípio prende-se com a definição do que é valor para o cliente. Assim, valor assume-se como tudo aquilo que o cliente está disposto a pagar, sendo que os desperdícios anteriormente mencionados não deverão ser pagos pelo cliente (J. Womack & Jones, 1996).

Identificar a cadeia de valor

Depois de identificado o que é valor para o cliente, torna-se importante verificar qual o seu fluxo, isto é, todas as ações necessárias para produzir o produto pedido pelo cliente. Esta cadeia de valor contemplará atividades que acrescentam valor, mas também atividades que não acrescentam valor. Essas atividades fazem parte dos desperdícios, e o objetivo é que sejam eliminadas (J. Womack & Jones, 1996).

Beecroft et al. (2003) refere um valor estimado de 95% de tempo de valor não acrescentado aos produtos, durante a sua conceção, nas empresas.

Criar um fluxo contínuo

Depois de identificado o que é valor para o cliente, e identificada a cadeia de valor, segue-se a criação de fluxo de valor, de forma que as operações que acrescentam valor ao produto aconteçam fluidamente, sem paragens.

Na aplicação deste princípio, J. Womack & Jones (1996) menciona *Ohno*, uma vez que este é adepto de *one-piece-flow*, explicando que este tipo de produção garante mais flexibilidade e mais fluidez dos processos, contrariamente à produção por lotes.

Implementar produção “pull”

Quando se introduz um fluxo contínuo na produção, a transformação de matérias-primas em produtos finais é feita de forma muito mais rápida. Assim, garante-se maior flexibilidade, podendo-se produzir mais produtos em menos tempo. Se se garantir essa fluidez na produção, com tempos de preparação de operações reduzidos e outra série de fatores, torna-se muito mais fácil concretizar o que diz o quarto princípio do *Lean Thinking*.

Assim, o quarto princípio tem como objetivo apenas se produzir aquilo que é pedido pelo cliente. Para além disso, os processos da empresa também devem acontecer de forma “pull”. Ou seja, um processo só é executado se o processo a jusante necessitar de produto (J. Womack & Jones, 1996).

Procurar a perfeição

Depois de as pessoas de uma organização conseguirem especificar o que é valor para o cliente, identificando a cadeia de valor, criando um fluxo contínuo para ela, e deixando que sejam os clientes os influenciadores desse fluxo de valor na empresa, elas começam a perceber que não há limite para o processo de redução de esforço, tempo, espaço, custo e falhas, ao mesmo tempo que oferecem um produto cada vez mais próximo do que o cliente deseja. E é aí que entra o quinto princípio do *Lean Thinking*, uma vez que a perfeição deixa de parecer uma ideia sem nexos, e as pessoas sentem-se motivadas em alcançá-la (J. Womack & Jones, 1996).

2.3 Ferramentas e métodos *Lean*

Posto isto, existem várias ferramentas que devem ser usadas para alcançar cada um destes princípios.

2.3.1 Indicadores-chave de desempenho

Antes de enunciar essas ferramentas, torna-se importante definir a forma como é avaliado se as mesmas estão a surtir o efeito desejado, ou então, se as ferramentas forem de diagnóstico, poderão ser as mesmas a conter essas métricas, de forma detalhada.

Assim, de acordo com Rother & Shook (1999), as métricas *Lean* são muito importantes quando se analisa uma cadeia de valor e quando se tomam decisões sobre um sistema de produção. Desta forma, os indicadores-chave de desempenho, ou, em inglês, *key performance indicators* (KPI), caracterizam esse tipo de métricas, definindo-se como um nível quantificável de atingir um objetivo crítico.

É importante também mencionar que, depois do conceito de KPI, surgiu também um novo conceito, para indicadores que avaliavam o comportamento das pessoas, denominados *key behavior indicators* (KBI) (Carvalho, 2021).

De seguida, explorar-se-ão alguns dos KPI mais importantes para avaliar o desempenho de um sistema produtivo.

Takt time

O *takt time* (TT) assume-se como o ritmo necessário para cumprir com a procura do cliente, ou seja, de quanto em quanto tempo, em média, o cliente pede uma unidade do produto em causa (Jones & Womack, 2002). A Equação 1 descreve como se calcula o TT.

$$\textit{Takt time} = \frac{\textit{Tempo disponível para produção}}{\textit{Procura}}$$

Equação 1. Fórmula de cálculo do takt time.

Tempo de ciclo

Monden (1998) descreve o tempo de ciclo (TC) como o tempo total necessário, em cada posto de trabalho (PT), para realizar as operações que lhe estão afetas, de forma a cumprir com a taxa de produção planeada para cada produto.

Desta forma, o TC pode ser calculado como o inverso da taxa de produção – quantidade de produtos produzida por unidade de tempo - de um PT, indicando o intervalo de tempo entre a saída de dois produtos sucessivos do PT (Rother, 2010).

Assim, para se garantir que se está a cumprir a procura, o TC de um produto não deve ser superior ao TT (Rother, 2010).

Lead time

O *lead time* (LT) assume-se como o período de tempo decorrido desde o início de uma atividade até ao seu término. Aplicado à produção, define-se como o tempo decorrido entre o momento do pedido de um cliente até à entrega do que foi efetivamente pedido (Monden, 1998). Pode também ser decomposto para cada processo de uma empresa, indicando quanto tempo um produto esteve no posto associado a esse processo (Shingo, 1985).

Desta forma, quanto mais pequeno for este indicador, mais rapidamente os produtos são entregues aos clientes (Jones & Womack, 2002).

Work-in-process

O WIP é o trabalho em curso, ou seja, a quantidade de artigos que se encontram entre operações, ainda em curso de fabrico, não estando, por isso, concluídos (Liker, 2004).

Assim, *John Little* criou uma lei que permite o cálculo do WIP num sistema produtivo (Carvalho, 2021), demonstrada na Equação 2.

$$WIP = Taxa\ de\ produção \times Tempo\ de\ percurso$$

Equação 2. Lei de Little.

Produtividade

Monden (1998) refere que o *output*, por hora e por trabalhador, é a principal escala para avaliar os resultados de atividades de melhoria, definindo, desta forma, a produtividade. (Carvalho, 2021) revela que a produtividade indica a contribuição média de cada colaborador na produção de peças ou produtos num determinado período.

De forma simples, a produtividade assume-se como a eficiência da utilização dos fatores de produção, ou seja, a divisão do *output* gerado, pelos recursos utilizados para a sua obtenção.

2.3.2 Value Stream Mapping

O fluxo de valor assume-se como o conjunto de todas as ações, de valor acrescentado e de não valor acrescentado, que são necessárias para realizar o projeto, produção e expedição de um produto, ou seja, desde as matérias-primas até à entrega ao cliente (Rother & Shook, 1999). Essas ações consideram tanto o fluxo de materiais, como o de informação. Rother & Shook (1999) frisam esta ideia, constatando que onde quer que haja um produto para um cliente, existe um fluxo de valor, sendo o desafio encontrá-lo.

Assim, o *Value Stream Mapping* (VSM) surge para identificar todos os tipos de desperdício na cadeia de valor, tentando expor os mesmos, para ser possível atuar na sua eliminação, e gerando, com isso, custos de produção mais baixos, tempos de resposta ao cliente mais curtos, e maior qualidade dos produtos (Jones & Womack, 2002; Rother & Shook, 1999).

O VSM apresenta-se como uma ferramenta de papel e lápis, que faz uso de um conjunto de ícones pré-definidos, constituindo uma linguagem comum para comunicação (Rother & Shook, 1999). Alguns dos ícones utilizados estão ilustrados na Figura 2 e na Figura 3.

Symbol	Title	Symbol	Title
	Supplier or customer		Dedicated process
	Shared process		Data box
	Work cell		

Figura 2. Símbolos de processo do VSM (Jasti & Sharma, 2015).

Symbol	Title	Symbol	Title
	Shipments		Inventory
	Material pull		Push arrow
	Supermarket		Safety stock
	FIFO lane		External shipment (receiving or shipping)

Figura 3. Símbolos de material do VSM (Jasti & Sharma, 2015).

Assim, para aplicar a ferramenta VSM, é necessário seguir uma série de etapas (Jones & Womack, 2002; Rother & Shook, 1999):

1. Escolher um determinado produto ou família de produtos como alvo de melhorias.

2. Desenhar o VSM do estado atual. Nele, devem estar parâmetros como o tempo de ciclo (TC), tempo de *setup* (TS), tempo de valor acrescentado, *work-in-process* (WIP), procura do cliente, fornecedor, sequência de operações, número de trabalhadores em cada operação, entre outros.
3. Analisar o VSM do estado atual. Devem ser analisados problemas como desperdícios, gargalos do processo ou tempos de estagnação de materiais.

Para estimar esses tempos de estagnação, é utilizada a lei de *Little* (Carvalho, 2021).

Depois, deve ser definida uma prioridade para atuação nos problemas encontrados.

4. Desenhar o VSM do estado futuro. Depois de encontrados os desperdícios, deve-se desenhar um VSM novamente, onde se tenta eliminá-los.

Na conceção do VSM de estado futuro, torna-se importante responder a uma série de perguntas, sendo que a primeira prende-se com a definição do *takt time* (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

5. Elaborar o plano de intervenções de melhoria. Depois de se analisar aquele que é o estado pretendido, deve ser definido um plano de ações de melhoria, para se tentar atingi-lo.

2.3.3 5S

Monden (1998) refere que, com o tempo, vários tipos de lixo podem acumular-se dentro de uma empresa. Exemplos desses tipos de lixo são os *stocks* desnecessários de material em processo – *work-in-process* (WIP) -; *stocks* defeituosos; ferramentas e elementos de suporte à produção desnecessários; óleos das máquinas derramados; documentos e relatórios desnecessários; etc.

Assim, a ferramenta 5S surge para eliminar todos esses tipos de lixo. Com a implementação de 5S, os níveis de qualidade aumentam, o *lead time* diminui e há uma redução dos custos de produção (Monden, 1998). Carvalho (2021) complementa esta afirmação, referindo que a aplicação adequada desta técnica assegura que há um lugar para cada elemento de produção, sendo que a ausência desse elemento nesse lugar indica que está a ser usada na produção, necessitando de voltar ao lugar definido, após a sua utilização.

Além disso, Monden (1998) refere que a implementação de 5S tem ainda outros benefícios, como cultivar as boas relações humanas entre pessoas numa empresa, e aumentar a sua moral. Isto acontece, pois com o espaço de trabalho limpo e arrumado, aumentará a credibilidade de várias pessoas ligadas à empresa, como os seus clientes, fornecedores, visitantes, etc.

Assim, os 5S são assim designados, pois são alusivos a 5 palavras começadas por “S”, na língua japonesa (Carvalho, 2021).

Seiri (Separar)

O primeiro “S” prende-se com a separação entre as coisas necessárias e as coisas não necessárias, eliminando-se as últimas do espaço de trabalho.

Nesta etapa, sugere-se a implementação de “*red tags*”, ou seja, etiquetas que ajudam a identificar materiais que são desnecessários (Monden, 1998).

Seiton (Organizar)

Depois de eliminados os itens desnecessários, torna-se importante colocar os que restaram em locais apropriados, de forma a poderem ser encontrados rapidamente, quando forem requisitados (Monden, 1998).

Seiso (Limpar)

A terceira etapa dos 5S prende-se com a limpeza e inspeção do espaço de trabalho. Fazem parte desta etapa processos como varrer o chão ou limpar as janelas e as paredes (Monden, 1998).

Seiketsu (Normalizar)

Esta etapa prende-se com manter os 3 primeiros “S”. Para tal, é importante criar normas e procedimentos, de forma que o espaço de trabalho permaneça limpo e organizado (Carvalho, 2021; Monden, 1998).

Shitsuke (Manter)

Por fim, a última etapa relaciona-se com a criação de hábitos e rotinas para os operadores manterem o espaço de trabalho organizado e limpo (Monden, 1998).

2.3.4 Diagrama de *Spaghetti*

O diagrama de *Spaghetti* designa-se assim, devido ao que resulta nestes diagramas se assemelhar a esse alimento, e serve essencialmente para rastrear o fluxo de um ou vários operadores (Chiarini, 2013). Basicamente, um diagrama deste género faz-se traçando-se as linhas, na planta do local avaliado, correspondentes aos movimentos dos operadores durante um determinado período, como um turno. Para tal, o analista, ou seja, o responsável pela conceção do diagrama, tem de observar constantemente os movimentos dos operadores (Carvalho, 2021).

Carvalho (2021) refere também que o principal objetivo deste diagrama é demonstrar a incidência das movimentações, de forma a diminuí-las, ao procurar-se diferentes disposições dos equipamentos ou alterações nos procedimentos e normas de trabalho.

2.3.5 Diagrama de *Ishikawa*

Também designado por diagrama de causa-e-efeito ou diagrama de espinha de peixe (Suárez-Barraza & Rodríguez-González, 2019), o diagrama de *Ishikawa* surge com o intuito de ajudar a representar graficamente todos os fatores que resultam num determinado problema de qualidade (Palange & Dhattrak, 2021). Ainda assim, Carvalho (2021) indica que estes diagramas não resumem a sua aplicação apenas a problemas de qualidade, mas que podem ser utilizados em muitas outras áreas.

6M

Górny (2017) acrescenta que os fatores ou causas dos problemas analisados nestes diagramas podem ser divididos, consoante 5 palavras começadas por M, ou seja, os 5M:

- Mão de obra: abrange qualificações, hábitos, experiência profissional, níveis de satisfação e motivação dos operadores;
- Método: abrangem todos os procedimentos e instruções seguidos na execução de uma tarefa;
- Máquina: fator para analisar os equipamentos em uso, em termos de avanço, eficiência e segurança, bem como qualquer licença e certificados necessários para a sua utilização;
- Material: abrange os serviços e os materiais processados;
- Medida ou gestão: fator envolvido no fluxo de trabalho e nas condições de trabalho de uma empresa diante de um determinado problema;

Além destes, surge um sexto “M”, que se relaciona com o meio-ambiente (Liliana, 2016). Assim, o formato de um diagrama deste tipo encontra-se representado na Figura 4.

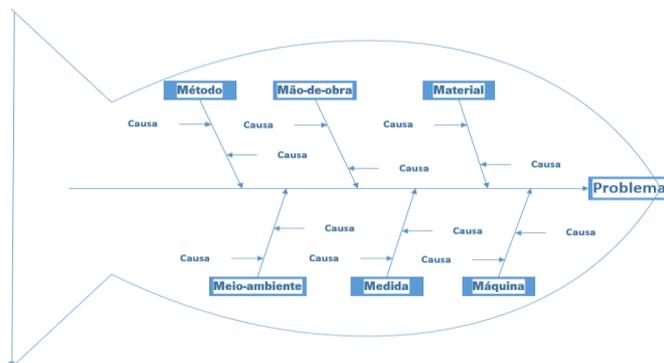


Figura 4. Formato do diagrama de *Ishikawa*.

Suárez-Barraza & Rodríguez-González (2019) referem também que, depois de elaborado este diagrama, é possível elaborar um plano de ações para tratar das causas identificadas.

Contudo, Górnny (2017) indica que não é necessária a atuação em todas as causas, mas apenas nas com maior impacto. E, para essa definição, sugere a utilização de um diagrama de *Pareto*.

Diagrama de *Pareto*

A análise de *Pareto*, ou análise ABC, baseia-se no princípio empiricamente confirmado, segundo o qual 20% das causas (fatores) que ocorrem na natureza, tecnologia ou quaisquer outras atividades humanas produzem, normalmente, 80% dos efeitos. Em termos mais gerais, um pequeno número de causas, pessoas ou circunstâncias são responsáveis pela maioria das ocorrências (Górnny, 2017).

Sintetizando, o diagrama de *Ishikawa* ajuda a identificar as causas dos problemas (Carvalho, 2021), enquanto o diagrama de *Pareto* permite ordená-los por prioridade de atuação, com base no impacto atribuído a cada causa (Górnny, 2017).

2.3.6 5 Porquês

Ohno (1988) introduz os “5 Porquês” como uma ferramenta que ajuda a descobrir a raiz de um problema e a corrigi-lo. Assim, ao perguntar “porquê” cinco vezes, é possível chegar à causa raiz de um problema, que muitas vezes se encontra escondida atrás de sintomas mais óbvios.

Goshime et al. (2019) acrescenta que os “5 Porquês” servem para verificar se os problemas provêm da máquina, do operador, do material, da medida ou do método, ou seja, serve para identificar com qual dos 5M, ou 6M, o problema está relacionado.

2.3.7 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é uma ferramenta de LM, que foi criada inicialmente para controlo de qualidade de produtos. Contudo, desenvolveu-se rapidamente, permitindo desenvolver melhorias para qualquer tipo de processo ou atividade, estando enquadrado na abordagem de melhoria contínua (Realyvásquez-Vargas et al., 2018). Assim, o ciclo PDCA divide-se em 4 etapas, que se encontram descritas na Tabela 1.

Depois de se percorrer todo o ciclo PDCA, caso o resultado não seja ainda o desejado, deve-se voltar à primeira etapa, ou seja, planear (Carvalho, 2021).

Tabela 1. Descrição das etapas do ciclo PDCA (adaptado de Rother (2010)).

P	D	C	A
Plan Planejar	Do Fazer	Check Verificar	Act Agir
Identifica-se o estado atual de um processo e os seus problemas. Analisam-se as causas-raiz, e propõem-se melhorias.	Implementam-se as ações definidas anteriormente.	Analisam-se os resultados obtidos com a implementação de melhorias. Verifica-se, também, se se atingiram os objetivos pretendidos.	Desenvolvem-se métodos para normalizar as melhorias, caso estas tenham surtido o efeito desejado.

2.3.8 Gestão Visual

Segundo Pinto (2009), a gestão visual surge com o intuito de ajudar os operadores nas tarefas que estão a realizar, o que facilita essencialmente os operadores com menos experiência nessas tarefas. Para tal, a informação acerca dessas tarefas deve estar exposta no local onde os operadores se encontram, permitindo que, visualmente, se obtenham informações necessárias para a sua realização. Para isso, essas informações devem usar uma linguagem simples e denotativa (Hall, 1986).

Exemplos desta ferramenta são folhas de normalização de trabalho, cartões *kanban*, marcações de espaços para elementos da produção, entre outros (Shingo, 1989).

2.3.9 Kanban

Ohno (1988) identifica o *kanban* como o método de operar do TPS, sendo a sua forma mais comum um pedaço de papel, contendo informação dividida em três categorias: informação sobre a zona de levantamento, informação sobre a transferência e informação sobre a produção. Monden (1998) complementa, referindo que o sistema *kanban* é um sistema de informação que controla a produção, garantindo que só se produzem os artigos necessários, nas quantidades necessárias, e no período necessário. Revela, por isso, que o sistema *kanban* serve para atingir a produção JIT.

Segundo Monden (1998), existem dois tipos de *kanban*: o *kanban* de transporte e o *kanban* de produção. O primeiro serve para regular as atividades de transporte, sendo que nenhuma atividade de movimentação de materiais é executada sem esse tipo de *kanban*, isto é, a ausência ou presença de um *kanban* deste tipo é que determina se é necessário o transporte de materiais. O segundo serve para regular a produção, garantindo que nenhuma operação é realizada sem que exista um cartão *kanban* a autorizar essa operação. Ou seja, para atingir a produção *pull*, enunciada nos princípios do *Lean Thinking*, o *kanban* tem um papel muito importante, pois garante que tudo é produzido apenas quando

existem pedidos para tal. De uma forma geral, o funcionamento de um sistema *kanban* está representado na Figura 5.

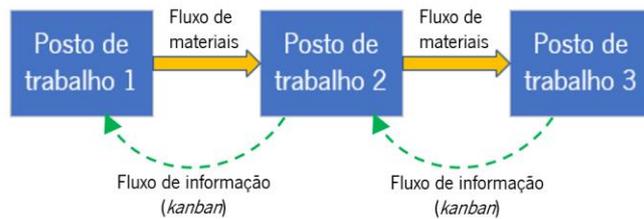


Figura 5. Funcionamento de um sistema *kanban* (adaptado de Pillet et al. (2003)).

Cálculo do número de *kanbans*

Assim, torna-se importante saber a quantidade de *kanbans* a utilizar entre dois postos, sendo que esta se relaciona com dois fatores importantes: a procura de artigos do posto a jusante, durante o prazo de entrega desses artigos, pelo posto a montante; e a capacidade do contentor que deve conter esses artigos (Shingo, 1989). Além disso, pode ainda ser acrescentada uma margem, no prazo de entrega do posto a jusante, ou então, concedendo um *stock* de segurança de produtos no posto a jusante (Monden, 1998; Shingo, 1989). Assim, a fórmula de cálculo do número de *kanbans* necessários está exposta na Equação 3.

$$N^{\circ} \text{ de } kanbans = \frac{\text{Procura média} \times \text{Prazo de entrega} + \text{Stock de segurança}}{\text{Capacidade de um contentor}}$$

Equação 3. Fórmula de cálculo do número de *kanbans* necessários.

Sistema de duas caixas

Posto isto, associado também ao sistema *pull*, surge o sistema de duas caixas. Este sistema caracteriza-se por, entre dois postos, serem colocadas caixas, sendo que a ausência de produto numa das caixas é indicativo de que, no posto a montante, ou seja, no posto fornecedor, é necessária a produção do produto associado às caixas (Kanet & Wells, 2019).

Assim, uma das caixas estará no posto cliente, até todo o material que contém ser utilizado, ao contrário do sistema *kanban*, em que o cartão volta para trás, logo após o início da produção daquilo que está no contentor associado. Por essa razão, o número de caixas necessárias calcula-se com a adição de uma unidade à fórmula de cálculo do número de *kanbans* (Kanet & Wells, 2019; Monden, 1998; Shingo, 1989).

2.3.10 *Single Minute Exchange of Die*

Segundo Shingo (1989), o *Single Minute Exchange of Die* (SMED) surge para reduzir o tempo de preparação de máquinas, ou *setup*, para valores com apenas um dígito, ou seja, fazer com que este tempo seja menor do que 10 minutos.

Etapas da implementação de SMED

Posto isto, existem dois tipos de atividades de *setup* (Shingo, 1989):

- *Setup* interno: atividades de *setup* que apenas podem ser executadas com a máquina parada, como colocar peças ou retirar peças;
- *Setup* externo: atividades de *setup* que podem ser completadas enquanto a máquina está a trabalhar, tal como transportar peças para ou de um armazém.

Shingo (1985) refere 3 etapas para a implementação de SMED.

A primeira etapa é a separação de atividades internas e atividades externas. Shingo (1985) descreve esta fase como a mais importante na implementação de SMED, revelando que o tempo de paragem de máquinas poderá ser reduzido, entre 30% a 50%, se os operadores souberem o que podem e devem fazer e preparar com as máquinas em funcionamento.

A segunda etapa do SMED é a conversão de atividades internas em atividades externas. Shingo (1985) indica que esta etapa é necessária, pois com a aplicação apenas da primeira etapa, o objetivo do SMED não é atingido. Assim, esta etapa assenta em duas premissas essenciais:

- Reexaminar atividades para verificar que etapas estão assumidas erradamente como internas;
- Encontrar formas de converter essas etapas em *setup* externo.

Para isso, Shingo (1985) menciona que é extremamente importante adotar novas perspetivas, não se cingindo apenas aos hábitos de até então.

Por último, a terceira etapa do SMED baseia-se na racionalização de todas as etapas de *setup*. Assim, apesar do objetivo do SMED poder ser atingido apenas com as duas primeiras etapas, isso não é verdade na maioria dos casos. Por isso, torna-se importante reduzir o tempo das etapas de *setup*, em geral (Shingo, 1985).

Técnicas de aplicação de SMED

Para além do que já foi descrito, Shingo (1985) enuncia ainda algumas técnicas para aplicação de cada etapa de SMED.

Por exemplo, para a primeira etapa, sugere a criação de uma *checklist*, indicando todos os passos necessários para a preparação de uma operação; sugere a melhoria do transporte de elementos necessários à conceção das ferramentas, que entram e saem das máquinas, ou das próprias ferramentas; etc.

Para a segunda etapa, Shingo (1985) refere melhorias como antecipação de operações; recurso a padrões auxiliares (*jigs*); ou normalização de funções, fazendo com que um determinado processo ou molde seja igual para qualquer tipo de produto.

Por último, para racionalizar atividades de *setup*, Shingo (1985) sugere, por exemplo, o recurso a fixadores rápidos.

Tendo em conta tudo isto, Pellegrini et al. (2012) ilustram as etapas de implementação de SMED, através da Figura 6.

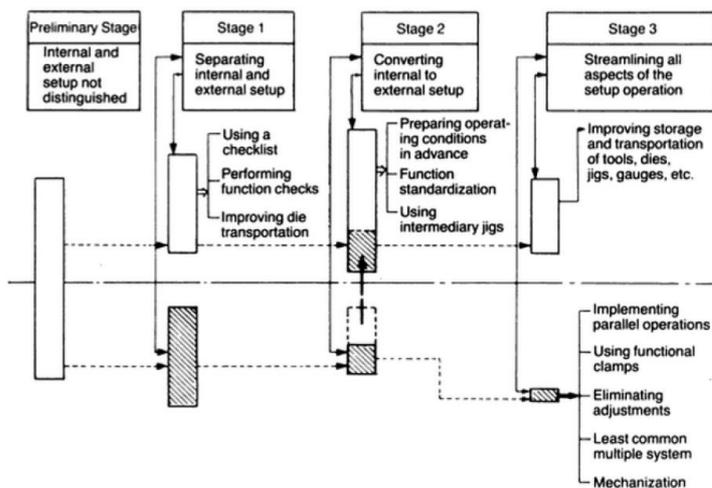


Figura 6. Etapas de implementação de SMED (Pellegrini et al., 2012).

2.3.11 Poka-yoke

Shingo (1985) refere que um sistema *poka-yoke* serve essencialmente para evitar erros ao longo dos processos, diminuindo, desta forma, a probabilidade de os produtos terem defeitos. Assim, alguns exemplos de dispositivos *poka-yoke* são luzes e alarmes, sensores ou pinos-guia.

2.4 Outras ferramentas e métodos

Para além das ferramentas *Lean*, existem outras ferramentas e métodos que podem ser complementares às ferramentas *Lean*, ajudando no diagnóstico e implementação de melhorias, perante determinados problemas.

2.4.1 Overall Equipment Effectiveness

Nakajima (1988) introduz o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) como o principal componente da metodologia *Total Productive Maintenance* (TPM). Explicando o TPM, este pode-se definir como uma aplicação contínua de métodos para reduzir perdas nos processos, de forma a alcançar a perfeição nos mesmos, sendo necessária, para isso, a participação de todas as pessoas (Cua et al., 2001).

Posto isto, o indicador OEE mede-se em percentagem, e indica a eficiência dos equipamentos, resultando da multiplicação de 3 parâmetros: disponibilidade, velocidade ou desempenho, e qualidade. Assim, se um equipamento trabalhasse, durante todo o tempo disponível, ou necessário, à velocidade máxima, ou à velocidade padrão definida, sem originar problemas de qualidade, este equipamento apresentaria um OEE de 100% (The Productivity Development Team, 1999).

Contudo, isto não acontece, e, por essa razão, para a definição dos três parâmetros do OEE, Nakajima (1988) enuncia cinco tempos diferentes que podem ser avaliados para um equipamento, expressos na Figura 7.

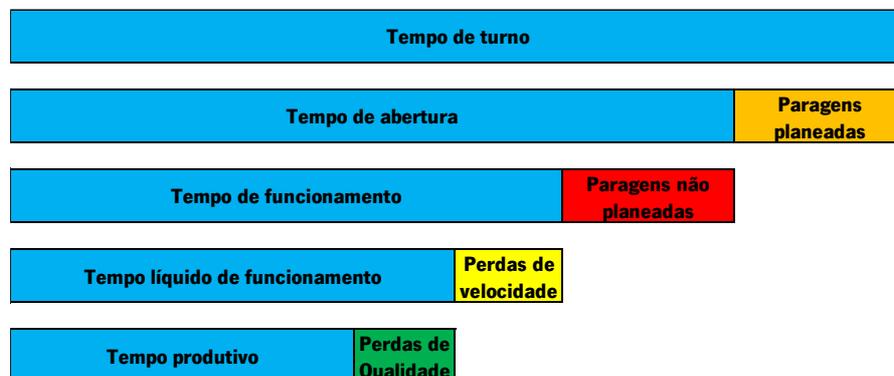


Figura 7. Definição de tempos para cálculo do OEE (adaptado de Nakajima (1988)).

Em relação às paragens planeadas, estas não influenciam o valor do OEE. Contudo, todas as restantes paragens influenciam-no, e devem-se a seis grandes tipos de perdas (Nakajima, 1988), expressas na Tabela 2.

Assim, as perdas de disponibilidade estão associadas à redução do tempo disponível para o equipamento produzir; as perdas de velocidade impedem a produção ao ritmo ideal; e as perdas de qualidade

relacionam-se com a diminuição da quantidade de produto que cumpre com as especificações pré-definidas.

Tabela 2. "Seis grandes perdas" associadas ao OEE (adaptado de Nakajima (1988)).

Perda	Exemplos	Parâmetro associado
Avarias	<ul style="list-style-type: none"> ● Falhas nas ferramentas; ● Falhas no equipamento; ● Manutenção não planeada; ● Avarias. 	Disponibilidade
Mudanças de ferramentas, e afinações	<ul style="list-style-type: none"> ● Trocas de ferramentas; ● Preparações de máquinas; ● Faltas de material; ● Ausência de operadores; ● Grandes afinações; ● Arranque do equipamento. 	
Pequenas paragens	<ul style="list-style-type: none"> ● Obstrução no fluxo dos produtos; ● Encravamento de componentes; ● Falhas na alimentação; ● Limpeza/ verificações; ● Etc. 	Velocidade
Velocidade reduzida	<ul style="list-style-type: none"> ● Produção grosseira; ● Cadência inferior à capacidade da máquina; ● Desgaste dos equipamentos; ● Ineficiência do operador. 	
Rejeições durante o arranque	<ul style="list-style-type: none"> ● Sucata; ● Defeitos recuperáveis; ● Obsolescência; ● Montagem incorreta. 	Qualidade
Rejeições na produção	<ul style="list-style-type: none"> ● Sucata; ● Defeitos recuperáveis; ● Obsolescência; ● Montagem incorreta. 	

Desta forma, Nakajima (1988) define 3 fórmulas para o cálculo de cada um dos indicadores do OEE, expressas na Equação 4.

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de funcionamento}}{\text{Tempo de abertura}} \quad (1)$$

$$Velocidade = \frac{\text{Tempo líquido de funcionamento}}{\text{Tempo de funcionamento}} = \frac{\text{Tempo de ciclo ideal} \times \text{Peças produzidas}}{\text{Tempo de funcionamento}} \quad (2)$$

$$Qualidade = \frac{\text{Tempo produtivo}}{\text{Tempo líquido de funcionamento}} = \frac{\text{Peças de acordo com especificações}}{\text{Peças produzidas}} \quad (3)$$

Equação 4. Fórmulas de cálculo dos parâmetros do OEE. (1) Disponibilidade; (2) Velocidade; (3) Qualidade.

Larrañaga Lesaca et al. (2017) indica um valor médio mundial do OEE de 60% nas empresas de produção, definindo-se 85% como objetivo a alcançar, em termos deste indicador, divididos por objetivos em cada parâmetro: 90% na disponibilidade, 95% na velocidade e 99% na qualidade.

2.4.2 Fluxograma

Os fluxogramas são muito usados para descrever processos, esquematizando as suas etapas, de forma sequencial. Para isso, fazem uso de várias formas geométricas, que indicam elementos como etapas dos próprios processos, decisões, documentos utilizados, etc (Kirchmer et al., 2019).

Desta forma, apresentam algumas características: podem conter *lanes* ou não, agrupando estas conjuntos de processos; apresentam várias variações para diferentes processos; os seus símbolos são facilmente reconhecidos; e este tipo de diagramas serve como base para a criação de muitos outros (Kirchmer et al., 2019).

Um exemplo de fluxograma está representado na Figura 8.

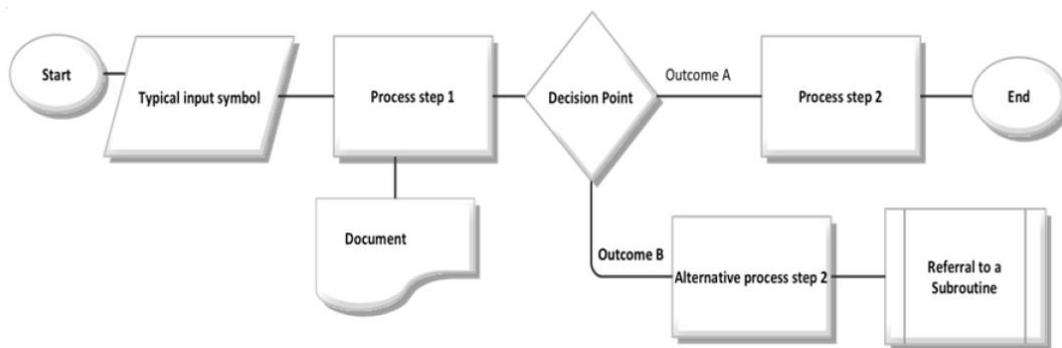


Figura 8. Exemplo de fluxograma (Kirchmer et al., 2019).

2.4.3 Business Process Model and Notation

O *Business Process Model and Notation* (BPMN) foi desenvolvido para modelar processos, ou seja, sequenciar eventos de forma lógica e cronológica (Freund & Rücker, 2019). Kirchmer et al. (2019) indicam ainda que esta ferramenta pode ser usada com três objetivos diferentes: apresentar o modelo de um processo a vários tipos de público; simular um processo de negócio com um mecanismo de processo; ou então executar um processo. O facto de poder ser usado de forma generalizada, por qualquer modelo de negócio, torna o BPMN uma das mais usadas ferramentas para modelação (Kirchmer et al., 2019).

Para esta generalização indicada, ao modelar-se um processo, em BPMN, existem uma série de elementos representativos de categorias, denominados de elementos básicos do BPMN (Freund & Rücker, 2019), que se encontram representados na Figura 9.

Desta forma, descrevendo cada um destes elementos, Freund & Rücker (2019) indicam que certas tarefas devem ser realizadas durante um processo – atividades -, sob certas condições – *gateways* -, havendo a probabilidade de certas coisas acontecerem – eventos. O que conecta esses três objetos de

fluxo são os fluxos de sequência, mas apenas dentro de uma *pool*. Se as conexões cruzarem os limites do conjunto, o processo recorrerá aos fluxos de mensagem.

Além disso, os artefactos contêm informação adicional sobre o processo, mas não podem influenciar a ordem dos objetos de fluxo diretamente, e ligam-se aos objetos de fluxo através de associações. Por fim, o BPMN contém uma categoria de dados adicional, que se refere à criação, processamento e arquivo de informações que podem tornar-se relevantes no âmbito do tratamento do processo, ligando-se, por isso, às atividades, através de associações (Freund & Rücker, 2019).

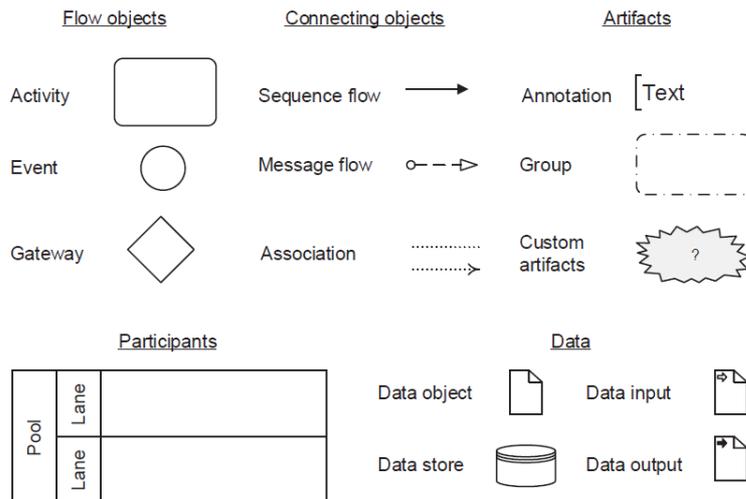


Figura 9. Elementos básicos do BPMN (Freund & Rücker, 2019).

Posto isto, Freund & Rücker (2019) referem 3 aspetos muito importantes necessários de entender para se perceber o BPMN:

- As ideias e regras por detrás do seu esquema simples;
- A gama completa de símbolos utilizados;
- O conhecimento prático para aplicar esta ferramenta.

2.4.4 Gráfico de análise do processo

Shingo (1989) refere que 5 elementos diferentes podem identificar o fluxo associado à passagem de matérias-primas para produtos finais: operação, transporte, inspeção, espera do lote e espera de apenas uma peça.

Mais tarde, surge o gráfico de análise de processo, que reúne esses 5 elementos para analisar um determinado processo, podendo ser usado, não só para o fluxo de produtos, mas também para o fluxo de um equipamento ou de um operador (Kiran, 2020). Nele, cada etapa de um determinado processo deve ser categorizada consoante os elementos presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Elementos de um gráfico de análise do processo.

Elemento	Simbologia	Descrição
Operação		Mudança no material, ou na sua qualidade.
Inspeção		Verificação da quantidade e da qualidade, confirmando se está de acordo com valores pré-definidos.
Transporte		Movimento de um material, produto ou trabalho, alterando a sua posição.
Espera		Avaria, interface, ou tempo necessário para alguns ajustes. Paragem necessária no processo.
Armazenamento		Armazenamento do produto ou de outras coisas.

2.4.5 Matriz ICE

A matriz ICE é um método de definição de prioridade para ações a implementar (Siqueira & De Paula, 2018). Assim, Ellis & Brown (2017) referem que, para priorizar ações, existem três fatores imprescindíveis, que, multiplicados, definem a pontuação ICE:

- Impacto ou *impact* (I): indica a dimensão que a ação implementada atingirá para aquilo que se pretende obter;
- Confiança ou *confidence* (C): refere a certeza presente na ação, ou seja, perante o problema encontrado, a probabilidade de que aquela ação o ajudará a eliminar;
- Facilidade ou *ease* (E): relaciona-se com o nível de esforço aplicado para conseguir implementar a ação.

2.4.6 5W2H

Nagyová et al. (2019) descreve a ferramenta 5W2H como um reconhecido método que tem como objetivo ajudar na criação de planos de ações eficientes. Assim, com planos de ações criados através deste método, é possível tomar melhores decisões e entender o que é preciso ser feito para resolver um problema ou implementar um novo processo.

Esta ferramenta começou por ser enunciada, por Shingo (1989), como 5W1H, respondendo-se a 6 perguntas – “Quem?”, “O quê?”, “Quando?”, “Onde?”, “Porquê?” e “Como?” -, sendo que as respostas a essas perguntas definem os responsáveis pela ação, o objetivo, o prazo, o local, a razão, e o método, respetivamente. Kuligovski et al. (2021) indicam ainda que uma nova pergunta foi acrescentada, que faz

o nome da ferramenta se transformar em 5W2H, sendo essa pergunta “Quanto?”, e cuja resposta indica os recursos associados à implementação daquela melhoria.

2.4.7 Matriz de competências

Stepanenko & Kashevnik (2017) descrevem “competência individual” como a habilidade de uma pessoa para aplicar conhecimento, habilidades e experiência, para realizar tarefas de forma eficaz.

O desenvolvimento dessas competências pode ser encarado como um ciclo, que visa a melhoria contínua (Draganidis et al., 2008; Sampson, 2008):

- Definição de um modelo de competências, identificando as competências necessárias para atingir um determinado objetivo. Esse objetivo poderá ser uma determinada tarefa numa empresa.
- Diagnóstico das competências existentes. Aqui, verificam-se, por exemplo, as competências que os operadores responsáveis por aquela tarefa possuem.
- Análise de lacunas existentes entre as competências necessárias, e as competências existentes.
- Desenvolvimento de competências. Ou seja, tenta-se eliminar lacunas a nível das competências necessárias, dando formação aos operadores, por exemplo.
- Monitorização de competências, verificando-se se as lacunas foram corrigidas, ou se é necessário percorrer novamente o ciclo, para explorar mais competências necessárias a determinada tarefa.

Desta forma, uma matriz de competências deve ser realizada durante este ciclo, definindo-se uma escala de valores a atribuir perante determinados parâmetros, que são necessários para a realização de uma tarefa. Consoante o índice total, resultante do coeficiente atribuído a cada parâmetro, para cada pessoa, pode-se verificar a necessidade de formação em alguma etapa, ou então a escolha de uma pessoa para um determinado cargo ou processo, caso seja esse o objetivo da realização da matriz (Staniec & Zakrzewska-bielawska, 2011).

2.4.8 Sistemas de referência

De acordo com Jiao et al. (2000), com a produção de uma grande variedade de produtos cada vez mais recorrente nas empresas, torna-se necessário fazer uma gestão da informação desses produtos cada vez

mais eficaz, para conseguir estruturar tudo aquilo que os clientes podem pedir. Assim, para gerir a informação desses artigos, o mesmo autor enuncia dois tipos de sistemas: sistemas de referência direta e sistemas de referência genérica.

Sistemas de referência direta

Em relação aos modelos de referência direta, para codificar artigos, estes podem subdividir-se em três categorias importantes: sistema de codificação estruturado com significado, sistema de codificação estruturado com algum significado, e sistema de codificação sem significado (Amaral & Varajão, 2007; Gomes et al., 2009; Hegge, 1992).

De uma forma simples, o sistema de codificação sem significado apresenta-se como códigos totalmente numéricos, não contendo, por isso, informação sobre as características dos artigos.

O sistema de codificação estruturado com significado contém informação sobre os produtos, como características que estes possam apresentar, sendo que os locais dos caracteres nos códigos são indicativos das diferentes características de um produto. Depois, para cada local, ou categoria, existe um conjunto de códigos pré-definidos, para identificar cada uma das variáveis que pode assumir essa categoria (Amaral & Varajão, 2007; Gomes et al., 2009; Hegge, 1992).

Por exemplo, numa biblioteca, este sistema pode ser usado para codificar os seus artigos. Neste exemplo, assume-se que os parâmetros “família”, “autor”, “edição”, “ano” e “editora” são os necessários para distinguir todos os tipos de artigos dessa biblioteca. Assim, com base na Figura 10, um livro – LV -, com o título “Sistemas de referência direta com significado” – SRDS -, do autor “Duarte Duarte” – DD -, na sua segunda edição, editado no ano 1999, pela editora “Grandes Livros” – GL -, pode ser representado através do código LVSRDSD021999GL.

L	V	S	R	D	S	D	D	0	2	1	9	9	9	G	L
Família		Título				Autor		Edição		Ano			Editora		

Figura 10. Exemplo de código de referência direta com significado.

Por último, dentro dos modelos de referência direta, surge a codificação direta com algum significado, que se assume como uma junção dos dois outros modelos. Assim, para evitar códigos longos, usando a codificação direta com significado, codificam-se apenas algumas características dos produtos, e enumeram-se os produtos com essas características (Amaral & Varajão, 2007; Gomes et al., 2009; Hegge, 1992).

Voltando ao exemplo da livraria, o código para ilustrar o artigo indicado poderia ser LVSRDSD001, onde a família, o título e o autor estão detalhados, mas todas as outras informações são ignoradas, numerando-se apenas os livros com as categorias anteriormente mencionadas, tal como ilustra a Figura 11.

L	V	S	R	D	S	D	D	0	0	1
Família		Título				Autor		Número sequencial		

Figura 11. Exemplo de código de referência direta com algum significado.

Sistemas de referência genérica

Os sistemas de referência genérica surgiram para ajudar na definição de artigos, numa era em que cada vez mais se lida com artigos customizáveis. Assim, de forma geral, nestes sistemas, e ao contrário do que acontece na referência direta, não é atribuído um código a cada artigo, mas sim cada artigo, ou variante, é identificado pela família de artigos a que pertence, e por um valor que identifica cada uma das suas propriedades ou parâmetros (Amaral & Varajão, 2007; Gomes et al., 2009; Hegge, 1992).

2.5 Análise crítica

Depois de analisada a definição de LM, e verificadas as ferramentas que podem ser utilizadas para aplicar os seus conceitos, torna-se importante verificar o que já foi feito e quais as metodologias seguidas anteriormente, tendo por base o LM, para melhorar os processos de produção de empresas do mesmo ramo que a FMT.

Assim, Suryaprakash et al. (2019), com o objetivo de aumentar o OEE de um centro de maquinaria de elementos para automóveis, aplicaram os princípios do TPM. Desta forma, começou-se por elaborar um VSM, para analisar e documentar o estado atual daquele centro, identificando atividades que não acrescentavam valor. Depois, aplicaram-se ferramentas como 5S e SMED. Com isso, foi possível diminuir, em 30 minutos, o tempo de *setup*, que rondava, antes das melhorias, o valor de 90 minutos; e o OEE médio do centro aumentou de 54.09% para 60.15%.

Também Leme et al. (2018) fizeram uso das ferramentas *Lean* para melhorar um centro de maquinaria de alta precisão de moldes, de uma empresa, no Brasil. Posto isto, à semelhança de Suryaprakash et al. (2019), também foi aplicada a ferramenta SMED, com a qual se reduziu em mais de 70% o tempo de *setup* associado aos postos de trabalho do centro de maquinaria em questão. Além das melhorias em termos de *setup* e atividades que não acrescentavam valor, a pegada de carbono daquele centro reduziu 81%, com a aplicação daquela ferramenta *Lean*, o que demonstra a diversidade de benefícios possíveis de obter com a aplicação de ferramentas *Lean*.

Kumar et al. (2018) também recorrem a ferramentas *Lean*, para melhorar os processos de uma empresa de produção de componentes automóveis, na Índia. Começam, então, por elaborar um VSM do estado atual da empresa, para identificar atividades que não acrescentam valor, e potenciais problemas. E, depois de identificar essas atividades, desenham o VSM de estado futuro, com vista à diminuição dessas atividades. De seguida, implementam um supermercado de produção, no início do processo,

conseguindo eliminar em 85% a quantidade de matérias-primas em *stock*. Para eliminar os desperdícios dos processos, identificam os principais, através de um diagrama de *Pareto*. E, para chegar à causa-raiz dos problemas, aplicam os “5 Porquês”. Como melhorias para os problemas encontrados, implementa-se um sistema *poka-yoke*, e criam-se outras soluções, através de *brainstormings* com toda a equipa de produção. Com isto, diminui-se o tempo de preparação de máquinas em 65.85%, a necessidade de operadores em 40%, o *lead time* da produção em 69.47%, e o tempo de valor acrescentado em 75.25%. Para melhorar os processos de uma empresa da indústria metálica, na Tailândia, Choomlucksana et al. (2015) referem a utilização de princípios do LM. Assim, à semelhança dos autores já mencionados, também começou por ser desenhado um VSM do estado atual, para identificar desperdícios nos processos, no qual se identificou um processo como sendo gargalo do sistema de produção. Dessa forma, foi aplicado um diagrama de *Ishikawa* para identificar quais os problemas que estavam a fazer com que esse processo fosse um gargalo. Com esta ferramenta, chegou-se a várias causas-raiz para o problema encontrado, e sugeriram-se melhorias para cada uma delas. Assim, para eliminar essas causas, foram aplicadas ferramentas *Lean*, como 5S, gestão visual e *poka-yoke*. Com estas ferramentas, atingiu-se uma diminuição de 62.5% do tempo de processamento associado à atividade que era gargalo, e reduziu-se, em cerca de 66%, as movimentações durante esse processo.

Por fim, Singh et al. (2013) fazem uso de ferramentas *Lean*, para melhorar os processos de uma empresa produtora de componentes automotivos. Em específico, é seguida a abordagem TPM, que, por si só, já inclui várias ferramentas *Lean*. Como indicador de sucesso da implementação, é utilizado o OEE. Desta forma, a primeira etapa foi a organização do espaço de trabalho, através de 5S. De seguida, implementou-se um sistema de manutenção autónoma e planeada, para garantir que os equipamentos não causariam problemas de produção, e que a manutenção dos mesmos não originava perdas de produção. Depois, foram aplicadas pequenas melhorias, num processo de melhoria contínua, destacando-se um sistema *poka-yoke* ou a reestruturação do *layout* do posto de trabalho. Por último, aspetos como manutenção da qualidade, formação dos operadores, automatização de processos, e melhoria das condições de segurança foram abordados, para melhorar os KPI do sistema de produção. Tudo isto permitiu um aumento do OEE médio de 63% para 79%, o que está diretamente relacionado com um aumento da produtividade e da qualidade dos produtos.

3. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Neste capítulo, é descrita a empresa onde o projeto é realizado, indicando a sua evolução ao longo dos anos, os seus processos e produtos, e outros elementos importantes relativos à sua forma de trabalho.

3.1 FREZITE – Ferramentas de Corte, S.A.

Fundada em 1978, com sede na Trofa, a FREZITE – Ferramentas de Corte, S.A. tem como objetivo a produção e comercialização de ferramentas de alta tecnologia e precisão, com aplicação na transformação da madeira, materiais derivados, plásticos e metais. Com isso, a sua vasta gama de produtos é capaz de satisfazer os requisitos mais exigentes e complexos das indústrias de transformação de madeira (serração, carpintaria, mobiliário, entre outras) e no campo da metalomecânica (indústria automóvel, aeronáutica, moldes, maquinação de precisão, entre outras).

Desde o ano da sua fundação, a FREZITE foi gradualmente conquistando uma faixa crescente no mercado interno e externo, até atingir a posição de principal fornecedor que hoje ocupa. Assim, com solidez e sustentabilidade, a empresa tem pautado o seu crescimento, estando atualmente presente, com os seus produtos e tecnologia, em mais de 50 países distribuídos por todos os continentes.

3.1.1 Missão da Empresa

A FREZITE assenta a sua missão em ser reconhecida pela sua eficácia na manutenção e criação de valor, através da inovação e criatividade, transferindo esse valor para os seus clientes, acionistas, colaboradores e demais *stakeholders*.

3.1.2 Visão da Empresa

A visão da FREZITE rege-se pelo desenvolvimento tecnológico sustentável em prol da qualidade de vida das pessoas. Desta forma, a FREZITE procura crescer, quer organicamente, quer pela aquisição de novas empresas que se incluam nas suas áreas de atuação ou em áreas complementares, de forma a otimizar as suas competências e sinergias.

3.1.3 Valores da Empresa

Os valores que a FREZITE procura respeitar são os seguintes:

- Integridade, respeitando-se a lei e as instituições, fomentando-se iniciativas criativas de investimento em produtos seguros e respeitando-se, ainda, o ambiente.

- Trabalho de equipa, através de cooperação, interajuda e lealdade entre dirigentes e os diversos colaboradores, ao reconhecer e motivar as pessoas nas suas atividades, por meio de uma comunicação sincera e direta;
- Inovação, encarando a mudança como uma oportunidade e não como uma ameaça, encorajando a criatividade e procurando ser líderes em implementar novas tecnologias.

Além do que já foi descrito, a FREZITE rege-se, ainda, pelo mote: “Não confiar, antes controlar”.

Atualmente, a FREZITE dedica-se a quatro Unidades Estratégicas de Negócio (UEN), presentes na Figura 12.

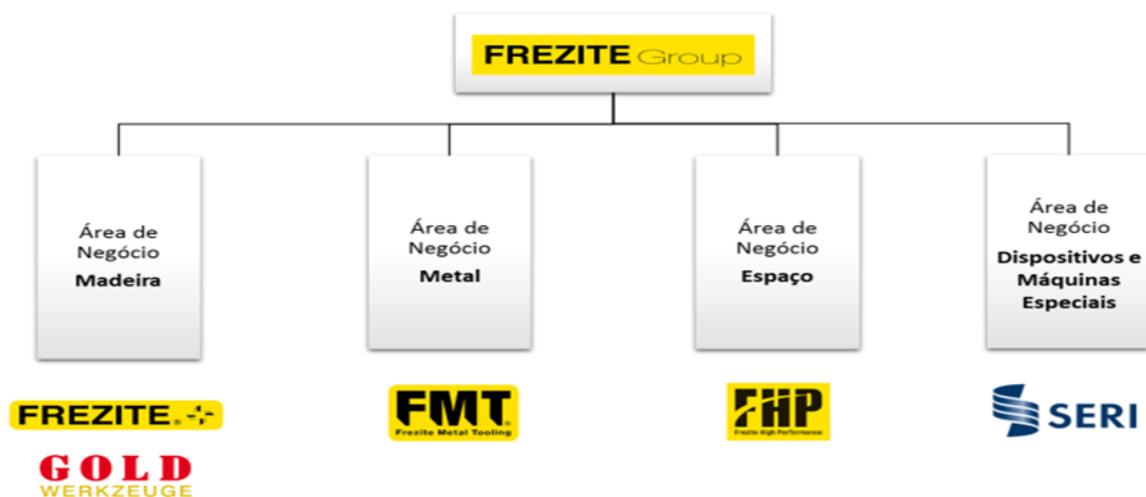


Figura 12. Unidades Estratégicas de Negócio da FREZITE.

No ano de 2022, e durante o período de realização desta dissertação, a FREZITE foi comprada, em 100%, pela empresa sueca *Sandvik*, sendo previsível um crescimento da mesma, com um aumento da procura, no curto-médio prazo.

3.2 *Frezite Metal Tooling*

É na UEN denominada Frezite Metal Tooling (FMT) que o projeto apresentado nesta dissertação acontece. Impulsionada pelo rápido crescimento do mercado automóvel e aeroespacial, a marca FMT foi criada em 2005, para a comercialização de ferramentas de corte para metal, sendo que, a partir desse ano, o projeto cresceu, originando a aquisição e constituição de novas empresas em diferentes países, tal como demonstrado na Figura 13.

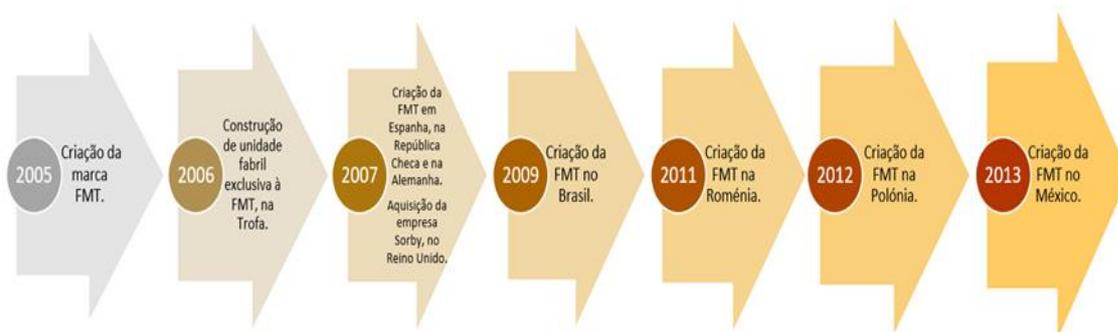


Figura 13. Evolução da FMT.

3.2.1 Clientes da FMT

Esta área de negócio está vocacionada para o desenvolvimento de soluções de ferramentas especiais para trabalhar metal, feitas à medida das necessidades específicas de cada cliente e respetivos projetos de maquinaria.

Os clientes são, portanto, maioritariamente, da indústria automóvel e da aeronáutica, ou também da indústria dos moldes, médica e mecânica, em geral. Como exemplos de clientes da FMT, apresentam-se: *Renault*, *CIE Celaya*, *Hanon Systems*, *Tesco*, *Amadeo Martí Carbonell*, *Martinrea Honse*, *AAPICO* ou *Eurocast*.

3.2.2 Produtos finais da FMT

As famílias de produtos desenvolvidas e produzidas pela FMT são brocas, fresas e mandris, como, por exemplo, os presentes na Figura 14. Estes produtos podem ter o seu corpo em aço ou em metal duro. Adicionalmente, estes produtos poderão ter cortantes em metal duro ou então em diamante policristalino (PCD).

De notar que, ainda que a FMT produza ferramentas *standard*, presentes nos seus catálogos, a maioria das suas vendas é de ferramentas especiais, ou seja, ferramentas em que o cliente indica o produto ou molde necessário para maquinar, e as características das suas máquinas, e os produtos são realizados de raiz para obedecerem a esses requisitos. Estas ferramentas especiais têm, no início da sua referência interna, a letra “E”.



Figura 14. Exemplos de produtos finais da FMT. a) Fresa em aço; b) Fresa em metal duro com cortantes em PCD; c) Broca em metal duro.

3.2.3 Sistema de produção da FMT

O sistema de produção está dividido em várias áreas: Projeto; Desenho; Logística; Programação; Produção - dividida em Aço, Metal Duro e Diamante; Montagem; Inspeção; Reparações e Afiamentos. Estas áreas estão distribuídas pela empresa, tal como indicado na Figura 15.

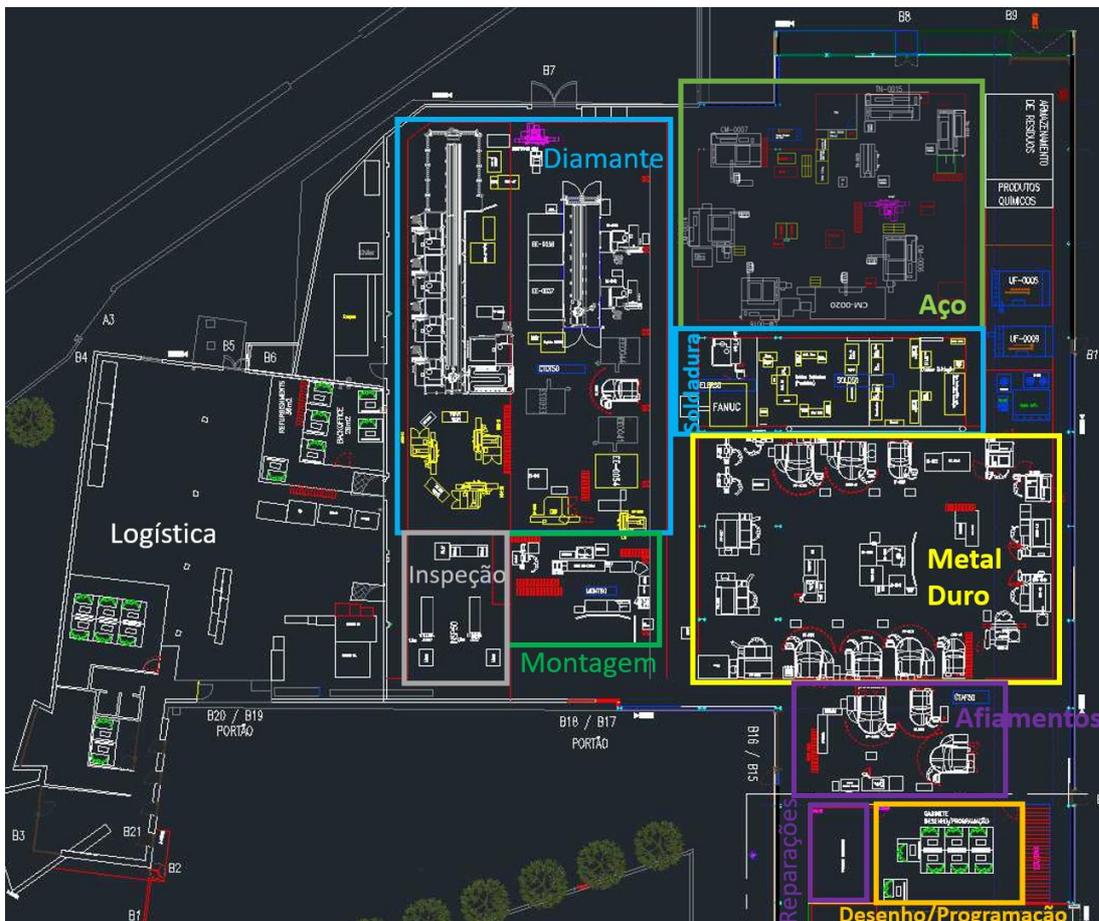


Figura 15. Layout da FMT, com as várias áreas associadas.

Projeto

Lida com os pedidos do cliente, que, caso sejam de ferramentas especiais, possuem anexadas as ferramentas que são necessárias maquinar e a máquina onde a ferramenta de corte – produto final – deve acoplar.

Nesta área, caso a ferramenta seja especial, realiza-se uma primeira versão do desenho da ferramenta para o cliente, que, depois de aprovado por este, segue para a área do Desenho.

Desenho

Esta área recebe o desenho vindo do Projeto, caso a ferramenta necessária seja especial, e transforma-o num desenho para a Produção, conferindo-lhe mais detalhes necessários para a Produção, como, por exemplo, aspetos para se fazer a programação das máquinas ou o tipo de material utilizado. Após esse desenho ser realizado, são criadas as ordens de fabrico (OF) para a produção.

Programação

Na área da Programação, existem operadores que, recebendo os desenhos da área do Desenho, criam o programa, conforme o formato das ferramentas, para operadores da Produção usarem nas suas máquinas. Dois dos operadores da Programação criam os programas para as máquinas de Fresagem de ferramentas com corpo em aço e outro operador cria os programas para as máquinas de afiamentos de PCD.

Logística

Lida com as necessidades de encomendas, controlo de *stocks*, receção e expedição de produtos, entre outras tarefas. Possui o armazém com os vários artigos necessários para a produção e é também onde se dá a serragem, em que se cortam os materiais (aço ou metal duro) para os corpos das ferramentas, necessários para o início da produção.

Depois, os materiais necessários para a produção são colocados em caixas, com um número associado e relativas a cada encomenda, e com a respetiva OF, e avançam para a produção.

Produção

A parte associada à Produção pode ser dividida em 3 áreas: Metal Duro; Aço e Diamante.

Na área do Metal Duro, lida-se com as ferramentas com o corpo deste tipo de material. Basicamente, começa-se por retificar a matéria-prima que originará o corpo da ferramenta, para depois ser fresada.

Na área do Aço, o processo inicia-se com o torneamento da matéria-prima que originará o corpo da ferramenta, ficando este com o perfil necessário para depois ser fresado, também na mesma área. É

nesta área que o projeto em questão tem lugar. Esta área é designada como Centro de Maquinagem (CM).

A área do Diamante inclui a Soldadura, onde, caso as ferramentas possuam cortantes, se cortam as patelas de PCD, originando *bits* de PCD de acordo com o formato necessário dos cortantes, e se soldam esses *bits* nos corpos das ferramentas, para depois serem afiados e retificados na restante área dedicada ao Diamante.

Montagem

Este processo inclui a lavagem das ferramentas, montagem dos componentes, equilibragem das ferramentas, gravação do logótipo e código interno da empresa, embalagem e a pesagem das ferramentas. É, portanto, o último processo em que se alteram as ferramentas, passando-as depois para a Inspeção.

Inspeção

Tal como o nome indica, nesta área são inspeccionadas as ferramentas, medindo-se vários parâmetros imprescindíveis para o seu bom funcionamento. No final, as ferramentas são enviadas para a área logística, para serem expedidas.

Reparações e Afiamentos

A FMT tem ainda uma área ligada à reparação de ferramentas e afinações destas, depois de algum uso por parte dos clientes, ou até da própria empresa. Assim, muitas das ferramentas podem voltar a passar pelos vários processos da empresa, para voltarem a ser reconstruídas ou reajustadas, caso a área das Reparações assim o avalie. Ou podem apenas sofrer um afiamento dos cortantes, quando estes começam a ficar degradados, sendo este realizado na área dos Afiamentos. Em termos de referência, as ferramentas que são reparadas iniciam a sua designação com “YR”, e as ferramentas cujos cortantes são afiados iniciam com “YA”.

3.2.4 Estrutura hierárquica da FMT

Em relação à estrutura organizacional da empresa, a nível essencialmente de produção, esta é hierárquica, e está representada na Figura 16.

No nível inferior, estão os operadores, que são responsáveis por produzir, ou seja, lidam diretamente com as máquinas e são os responsáveis pelos processos.

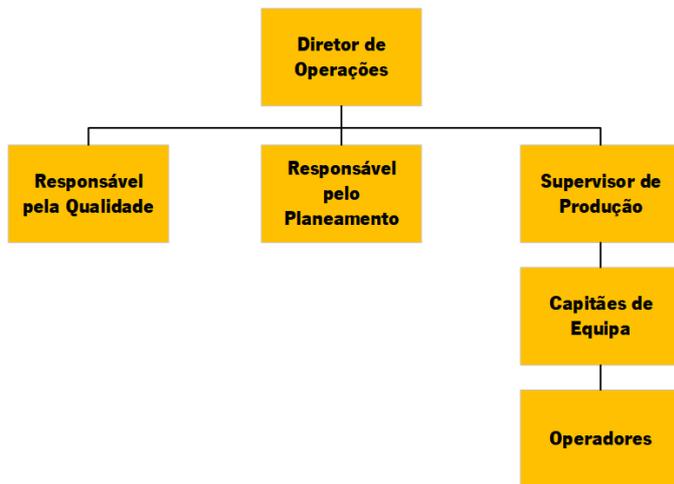


Figura 16. Estrutura hierárquica da FMT.

Cada área de produção tem um capitão de equipa (CE), a quem os operadores devem reportar qualquer tipo de problema. Este é responsável por tarefas como definir o plano de produção para essa área, para cada dia, atualizar os dados diários de produção no quadro de Melhoria Contínua afeto a cada área, controlar o *stock* de materiais necessários à maquinação, verificar a necessidade de subcontratação de operações nas ferramentas, etc. Além disso, o CE pode ser também responsável pela produção.

Por sua vez, os capitães de equipa de cada área reportam ao supervisor de produção, que deve analisar os dados diários de produção, de forma a atuar com melhorias, se for necessário. No mesmo patamar hierárquico, mas com outras funções, surge a responsável pelo Planejamento, que averigua o estado das OF diariamente, verificando se há atrasos, e definindo as encomendas urgentes, etc; e o responsável pela Qualidade, que averigua os problemas a nível de qualidade dos produtos e nos processos, e também está responsável pelos parâmetros associados à segurança.

O supervisor de produção, a responsável pelo Planejamento e o responsável pela Qualidade reportam todos ao Diretor de Operações da FMT, que, por exemplo, é responsável por gerir investimentos necessários para melhorar os processos.

3.2.5 Principais *softwares* utilizados pela empresa

Por último, no que à apresentação da empresa diz respeito, interessa destacar os principais *softwares* por ela utilizados:

- *Autoflow*. É a plataforma em que é possível verificar onde se encontra cada caixa na produção, pois os operadores têm o dever de as picar neste *software*, assim que estas estejam concluídas no seu centro. Ajuda, também, a fazer o planeamento da produção, ao verificar-se o que está

em cada centro diariamente. E ainda contempla vários relatórios, apresentados na Figura 17, como o trabalho realizado em cada centro da fábrica.

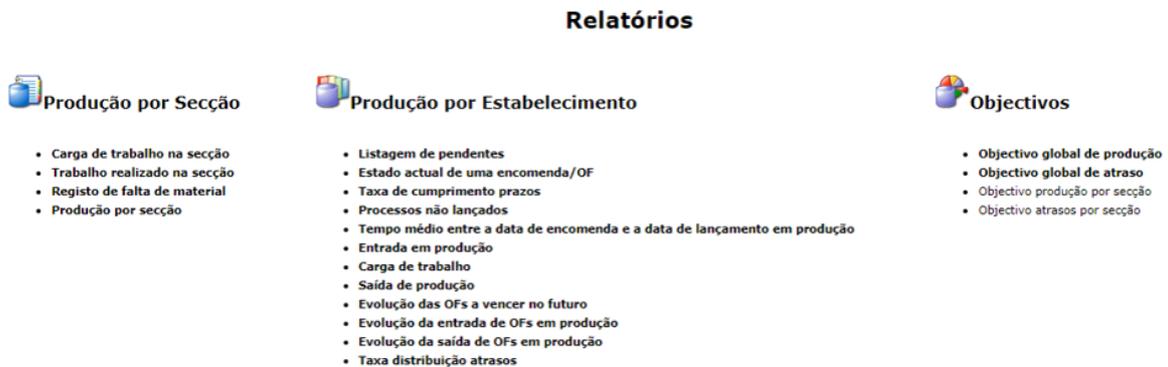


Figura 17. Relatórios presentes no Autoflow.

- **NARUM:** É o *software* que permite ao Departamento de Qualidade da empresa obter dados acerca das não conformidades (NC) nos processos. Nele, os operadores, em caso de NC, devem preencher um ficheiro, tal como o presente na Figura 18, que segue para o Departamento de Qualidade, para tratamento e atuação na causa da NC, se necessário.

Não conformidade (QLD)

Número:

Tipo: Operacional

UEN: Metal - FMT

Responsabilidade: Interna

Não conformidade: Afastamento fora de especificação

Descrição:

Estado: Inicial

Registada por: 821 Duarte Oliveira (duarte.oliveira@frezite)

Divisão: 100 100 - FREZITE - FERRAMENTAS CORTE SA

Detecção Causa Imputação Tratamento Custos/Fecho Documentos/Anexos

Detetada por: 2000263 Duarte Oliveira

Local da deteção: MO053 MO053 - Métodos e Processos (Metal 100)

Artigo :

Familia	Artigo	Ordem de fabrico	Qtd. Produzida	Qtd. Não conforme
*				

Figura 18. Ficheiro para preencher, no NARUM, em caso de NC.

- **M3:** Ferramenta para suporte logístico. É no M3 que são estabelecidas as ordens de compra e se controlam os *stocks* de materiais, sendo, por isso, geradas referências de materiais também nesta plataforma. O tratamento da expedição de produtos é também nele realizado.

3.2.6 Medidas de desempenho monitorizadas pela empresa

Com a ajuda dos *softwares* anteriormente apresentados, a empresa assenta o seu nível de desempenho em três indicadores-chave de desempenho principais:

- 1) *Output* diário (€): Baseia-se no valor das ferramentas em produção, e na produção diária em cada centro. Cada um dos centros de produção tem um objetivo diferente a atingir para esta medida de desempenho. Pode ser calculado consoante a Equação 5, onde “n” é o número de ferramentas produzidas, num dia, no centro analisado.

$$\text{Output diário do centro} = \sum_{i=1}^n \text{Preço de venda da ferramenta}_i$$

Equação 5. Fórmula de cálculo da medida de desempenho "output diário".

- 2) Percentagem de não conformidades: Com base no número de ferramentas produzidas em cada centro mensalmente, é calculada, pelo Departamento de Qualidade, a percentagem de ferramentas que resultaram em NC, de acordo com a Equação 6.

$$\% \text{ NC do centro} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de NC}}{\text{Ferramentas produzidas no centro}}$$

Equação 6. Fórmula de cálculo da medida de desempenho "percentagem de NC".

- 3) Nível de serviço: Medida de desempenho mais geral para todo o sistema de produção. O nível de serviço baseia-se no tempo que uma determinada OF passa pelo sistema de produção, ou seja, vai desde a criação da OF até ao fecho desta, ou seja, até ao fim da inspeção das ferramentas que contém. Pode ser calculado segundo a Equação 7.

$$\text{Nível de serviço} = \text{Data de fecho de OF} - \text{Data de criação de OF}$$

Equação 7. Fórmula de cálculo da medida de desempenho "nível de serviço".

4. ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DO PROCESSO PRODUTIVO

Para se entenderem os problemas presentes no Centro de Maquinagem (CM), foi feita uma análise profunda, que será abordada neste capítulo.

Ao longo desta análise, surgirão vários termos que são importantes ilustrar. Para tal, surge o Anexo I – Ferramentas e elementos pertencentes ao Centro de Maquinagem.

Importa também referir que todas as tabelas e figuras apresentadas, ao longo desta análise, surgem com valores arredondados, para tornar mais simples a sua visualização, apesar de os cálculos serem realizados tendo em conta todas as casas decimais.

4.1 Descrição da área do aço

A área do aço, ou seja, o Centro de Maquinagem, debruça-se sobre a produção de ferramentas com o corpo em aço. Este tipo de ferramentas passa normalmente por três processos inicialmente: 1) torneamento, ao qual se pode seguir a 2) furação, se a ferramenta necessitar de um furo central, na parte de trás; e 3) fresagem.

Porém, para entender, a um nível macro, onde estes três processos se encontram, dentro de todo o fluxo de produção, foi elaborado um fluxograma, representado na Figura 93, no Apêndice I – Fluxo de processos associado à produção de uma ferramenta com corpo em aço.

De forma genérica, o pedido de uma encomenda chega à empresa através da Área do Projeto, à qual é indicada a ferramenta/utensílio/molde que a ferramenta necessária deve ser capaz de maquinar, e também a máquina onde esta deve ter a capacidade de ser acoplada.

Confirmando a encomenda, esta segue para o Departamento (Dpt) de Desenho, onde o desenho de projeto é transformado em desenho de produção, para assim acompanhar cada OF criada no mesmo departamento. Depois disso, as OF são agrupadas pela responsável do Planeamento, que envia o plano de produção para a área de Logística, a qual contém o processo de Serragem.

De acordo com o planeamento e com os desenhos de produção, o responsável pela Serragem corta as barras de aço consoante o tamanho pretendido, e envia para a primeira área de produção das ferramentas em aço – o CM.

No CM, o capitão de equipa verifica o *buffer* das máquinas, e define o plano diário de produção, tanto para o Torneamento, como para a Fresagem.

No Torneamento, o operador começa por preparar o programa para a máquina *Computer Numerical Control* (CNC) à qual vai ser afetada a ferramenta para o cliente, para, depois de concluído o programa, esta ser maquinada nessa máquina, ficando com o perfil necessário.

Depois de torneada, caso seja necessário um furo central na parte de trás da ferramenta, a ferramenta passa por uma máquina de tornear manual, num processo denominado Furação, que pertence também ao setor do Torneamento. Quando concluídas as operações deste posto de trabalho (PT), as ferramentas seguem para o seguinte: a Fresagem. Nesta fase, não são os próprios operadores da Fresagem que preparam os programas para as máquinas CNC, mas existem dois programadores inteiramente responsáveis por isso, que pertencem ao Departamento de Programação. Estes elaboram os programas consoante o plano para as máquinas, definido pelo CE.

Relativamente à Fresagem, existem dois tipos: Aperto Mecânico (APM), caracterizado por ferramentas levarem parafusos/apertos para os cortantes ficarem fixados, processo esse que ocorre na Montagem; ou Construção Soldada (CS), onde os cortantes da ferramenta são soldados, no posto da Soldadura. As ferramentas de aperto mecânico, após passarem pelo CM, são apenas oxidadas – que é um processo característico da FMT para as ferramentas em aço, dando-lhes cor preta e melhor qualidade, e passam também pela Montagem. Em relação às ferramentas de CS, estas seguem outra série de processos mais complexos: Soldadura, Afiamentos de diamante, Retificação de diamante, Acabamentos de PCD e Montagem.

No fim, dá-se um processo normal de inspeção às ferramentas, antes de estas seguirem para a Área Logística, para serem expedidas.

Por fim, é importante revelar a designação, que se encontra nas OF, para cada centro constituinte do CM. Assim, o centro de operações de Torneamento designa-se TORN50; o centro operativo de Fresagem de construção soldada designa-se FRES50; e, quanto à Fresagem de aperto mecânico, declara-se FRAM50.

4.2 *Layout* do Centro de Maquinagem

Para melhor entendimento do espaço de trabalho onde se processam as operações do CM, é apresentado o *layout* deste centro produtivo na Figura 19.

No CM, existem duas áreas principais: o PT do Torneamento e o PT da Fresagem.

Relativamente à área do Torneamento, esta é constituída por duas máquinas CNC – TN-0015 e TN-0016, e por uma máquina manual – TN-0020. Além disso, para cada máquina, existe um armário com ferramentas maioritariamente dedicadas a essa máquina, e um local onde é colocada a carga para essa

máquina. Existe ainda um pequeno armário – “Armário 5”, que contém outros utensílios necessários para as máquinas, em geral, e, no seu topo, um altímetro, para medir o comprimento das ferramentas. Neste PT, são feitos dois processos: o próprio Torneamento, e a Furação de algumas ferramentas.

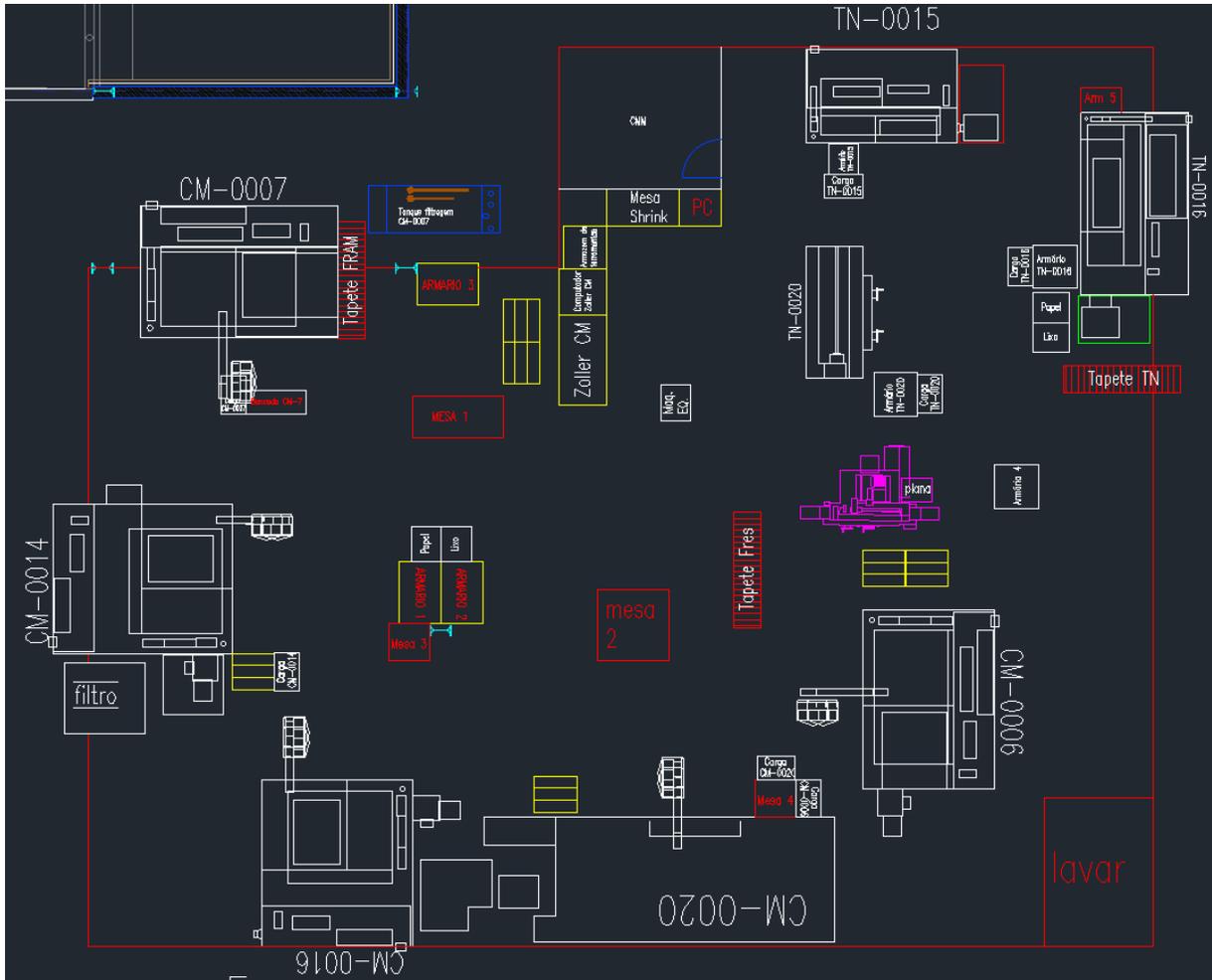


Figura 19. Layout do CM, no início do projeto.

Importa referir que a TN-0016 é mais recente que a TN-0015, podendo executar com mais qualidade as várias ferramentas e também com maior velocidade. Em ambas as máquinas, o sistema de aperto é uma bucha e ambas trabalham sobre três eixos - x, y, z .

Já no que diz respeito à Fresagem, existem 5 máquinas CNC para esse centro, estando uma delas inutilizável – CM-0016, e com pedido para ser retirada do centro. Três das restantes quatro máquinas dedicam-se à fresagem de ferramentas de construção soldada – CM-0006, CM-0020 e CM-0014; e a CM-0007 dedica-se à produção de ferramentas de aperto mecânico.

Existem, ainda, representados a amarelo no *layout*, carrinhos de ferramentas de maquinação necessárias para colocar na torreta de cada uma das máquinas, e fresar as ferramentas; três armários com utensílios necessários para as máquinas, como apertos de ferramentas; locais para colocar as cargas de cada uma

das máquinas; mesas e bancadas de apoio ao operador de cada máquina – “Mesa 4” para operador responsável pela CM-0006 e CM-0020; “Mesa 3” para operador responsável pela CM-0014 e “Bancada CM-7” para operador da CM-0007.

Existe também uma retificadora plana, que é usada neste posto, mas maioritariamente por operadores pertencentes à Soldadura; e uma máquina para equilibrar as ferramentas – “Maq. EQ.”.

Agrupadas, estão, por último, várias máquinas, armários e mesas, que são de uso comum de todo o Centro de Maquinagem: uma máquina de medir ferramentas com precisão – “ZollerCM”; o computador afeto a essa máquina; um armário automático afeto a esse computador, que contém várias ferramentas necessárias ao posto, para substituição se necessário, como por exemplo, brocas ou machos; uma mesa com uma máquina de *Shrink* – “Mesa *Shrink*”; e um computador – “PC”.

Importa também indicar as diferenças entre as máquinas de Fresagem, expressas na Tabela 4. Assim, verifica-se que a máquina CM-0020 é a que tem maior capacidade na torreta para levar ferramentas de maquinação – 50, as máquinas CM-0014 e CM-0020 asseguram a possibilidade de serem trocadas ferramentas de maquinação na torreta enquanto estão a maquinar, pois a torreta destas máquinas encontra-se numa zona exterior da máquina, que não a de maquinação. E, qualitativamente avaliando, a CM-0014 é a máquina que tem maior velocidade relativa dos eixos, e a CM-0006 a que tem menor, ou seja, colocando a mesma ferramenta a fresar em todas as máquinas ao mesmo tempo, a CM-0014 seria a que acabaria primeiro de fresar e a CM-0006 a que acabaria em último.

Tabela 4. Características das máquinas de Fresagem.

Característica	CM-0006 <i>(FRES50)</i>	CM-0014 <i>(FRES50)</i>	CM-0020 <i>(FRES50)</i>	CM-0007 <i>(FRAM50)</i>
Tipo de aperto	Aperto direto (ISO50)	Mesa (HSK63)	Pinça (HSK)	ISO50
Capacidade da torreta	30	30	50	30
Posições não <i>standard</i>	6	11	8	6
Localização da torreta	Interior	Exterior	Exterior	Interior
Velocidade relativa dos eixos	+	++++	++	+++
Nº de eixos	5 (x,y,z,a,b)	5 (x,y,z,a,b)	5 (x,y,z,a,b)	5 (x,y,z,a,b)

4.3 Análise ao desempenho do Centro de Maquinagem

Com base no objetivo do projeto, que passa por aumentar a produtividade do centro produtivo, interessa analisar a medida de desempenho que mais descreve essa produtividade ao longo do período anterior ao início deste projeto – ano de 2021 e primeiros 2 meses de 2022 -, estando desta forma distribuídos os dias úteis deste período: 239 em 2021, 21 em janeiro de 2022, e 20 em fevereiro de 2022.

Esta medida de desempenho é o *output* médio diário, cujo objetivo seria 15500€, em termos monetários, ou 34 ferramentas, em termos de quantidade. Importa referir que o objetivo monetário é o principal, e que o objetivo em termos de quantidade está sobreavaliado, unicamente para justificar que não se tenha atingido o objetivo monetário, por se terem feito muitas ferramentas com valor menor. Ou seja, cumprindo apenas um dos objetivos, monetário ou em quantidade, o objetivo do centro para o dia é cumprido.

4.3.1 Produtividade da Fresagem, até ao início do projeto

Tal como se pode observar na Figura 20, existe grande dificuldade para alcançar o objetivo do CM. Esta medida de desempenho avaliada pela empresa, apesar de pertencer ao CM, está relacionada apenas com a Fresagem, uma vez que, para as ferramentas ficarem completas na Fresagem, significa que também ficaram anteriormente, no Torneamento.

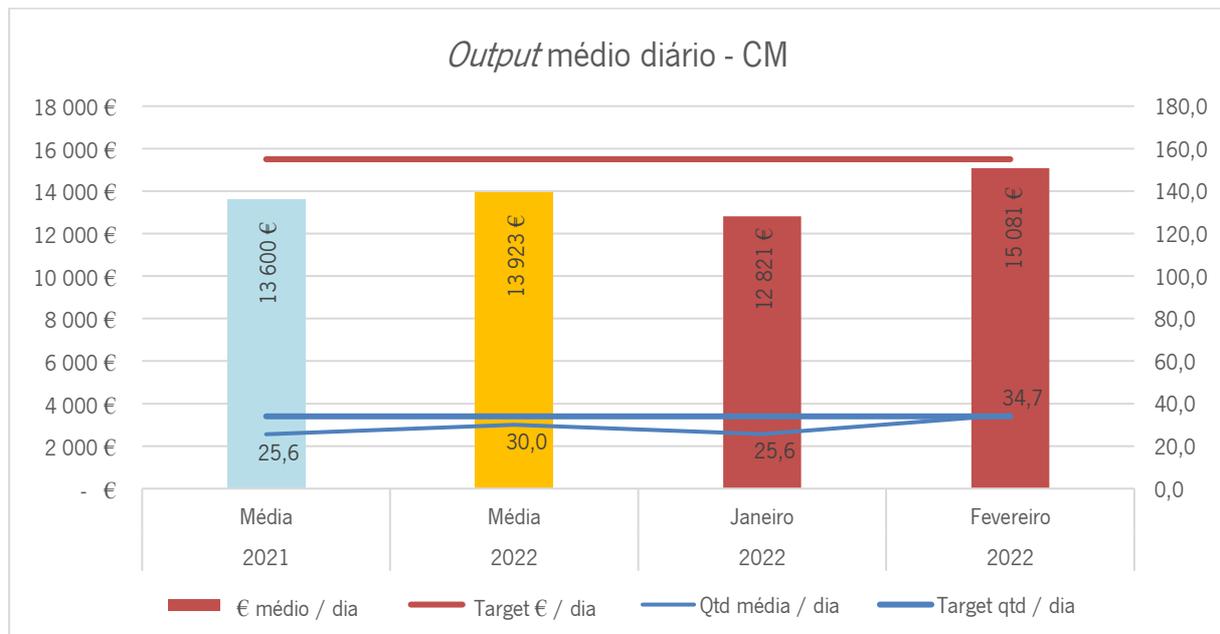


Figura 20. Output médio diário do CM até ao início do projeto.

É possível concluir, então, que os 4 operadores presentes na Fresagem, com um turno diário de 8 horas, produziram, em média diária, entre 2021 e o início de 2022, ou seja, em 280 dias úteis, 13647.33€ ou 26.23 ferramentas, o que indica uma produtividade de 426.48 €/hora.Homem, tal como demonstrado pela Equação 8.

$$Produtividade (Fresagem) = \frac{13647.33€}{4 operadores \times 8 horas} = 426.48 € \cdot h.H$$

Equação 8. Produtividade na Fresagem, antes do início do projeto.

4.3.2 Produtividade do Torneamento, até ao início do projeto

Ainda que não seja prática da empresa, também se resolveu avaliar a produtividade apenas no Torneamento. Para isso, verificaram-se os dados de *output* deste centro, até ao início do projeto, obtendo-se a Figura 21.

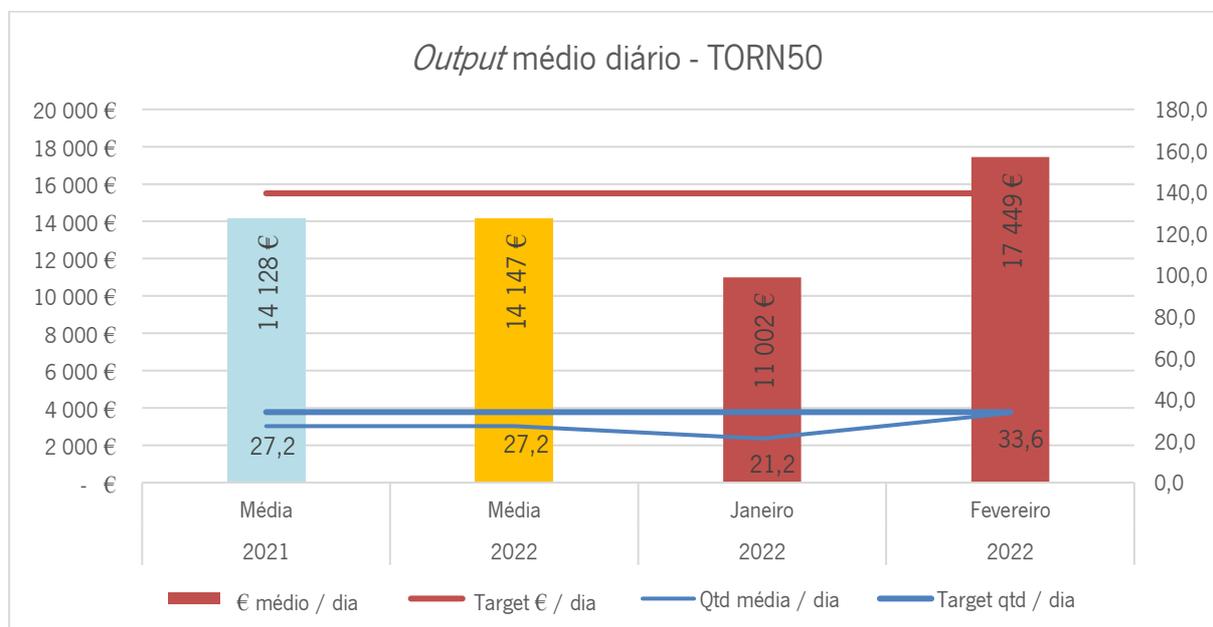


Figura 21. Output médio diário do TORN50 até ao início do projeto.

Com os dados recolhidos, verifica-se um *output* médio diário de 14131.06€ ou 27.19 ferramentas, o que resultou numa produtividade de 883.19 €/hora.Homem, tal como demonstra a Equação 9.

$$\text{Produtividade (TORN50)} = \frac{14131.06\text{€}}{2 \text{ operadores} \times 8 \text{ horas}} = 883.19 \text{ €} \cdot \text{h.H}$$

Equação 9. Produtividade no Torneamento, antes do início do projeto.

4.3.3 Output médio diário da Fresagem de construção soldada, até ao início do projeto

Uma vez avaliado o *output* da Fresagem, no geral, o qual se assume como sendo o *output* do CM, importa dividi-lo por centro de produção - FRES50 e FRAM50.

Começando pelo FRES50, o objetivo diário deste centro é de 13500€, ou, em termos de quantidade, 30 ferramentas.

Na Figura 22, é possível verificar o desempenho desse indicador até ao início do projeto. Assim, verifica-se que o *output* médio diário do FRES50 era de 11673.52€, em termos monetários, e de 23.12 ferramentas, em termos de quantidade.

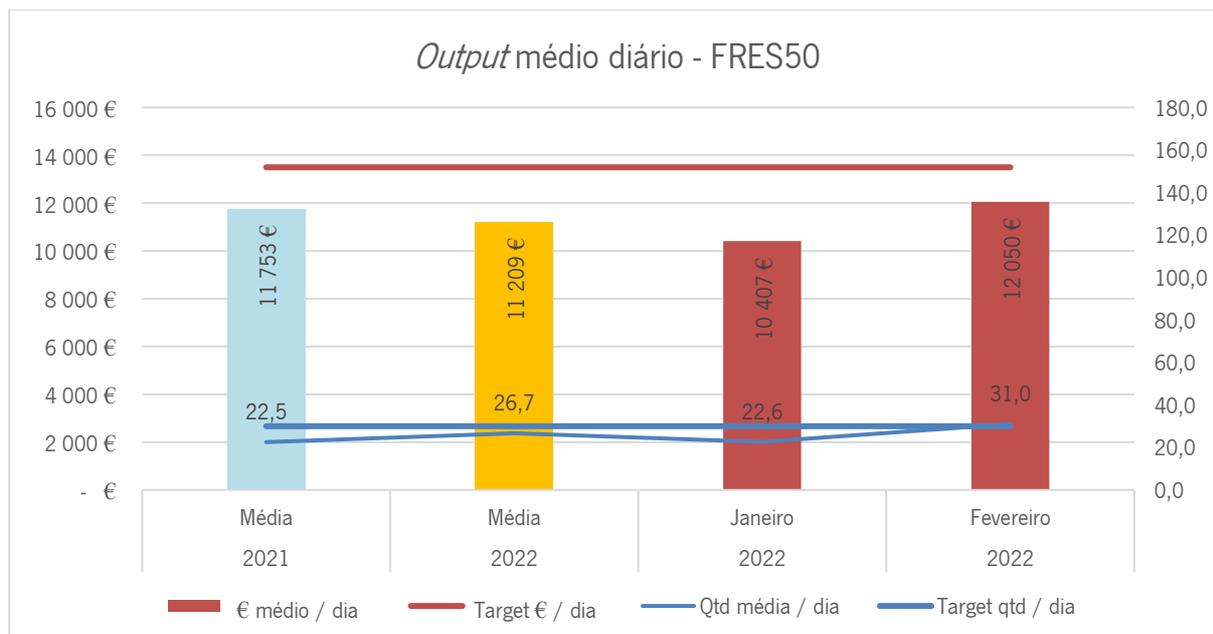


Figura 22. Output médio diário do FRES50 até ao início do projeto.

Para o FRES50 e para a FRAM50, não será calculada a produtividade, uma vez que é difícil definir quantos operadores estão afetos a cada um desses centros, uma vez que os operadores de FRAM50, por exemplo, têm competências para ajudar no FRES50, se necessário. Posto isto, a produtividade contabilizada é apenas a geral do CM, calculada anteriormente, na Equação 8.

4.3.4 Output médio diário da Fresagem de aperto mecânico, até ao início do projeto

Quanto ao FRAM50, o desempenho do *output* médio diário está representado na Figura 23, na qual se pode verificar que o objetivo a atingir é de 2000€ ou 4 ferramentas.

Como se pode analisar, o *output* médio diário, no FRAM50, até ao início do projeto, é de 1973.82€ ou 3.11 ferramentas.

Pode-se verificar também que a soma dos objetivos de *output* diário do FRES50 e do FRAM50 são os objetivos do Centro de Maquinagem. Esta distinção é possível, mas o mais importante é que o objetivo geral do centro – 15500€ ou 34 ferramentas - seja cumprido.

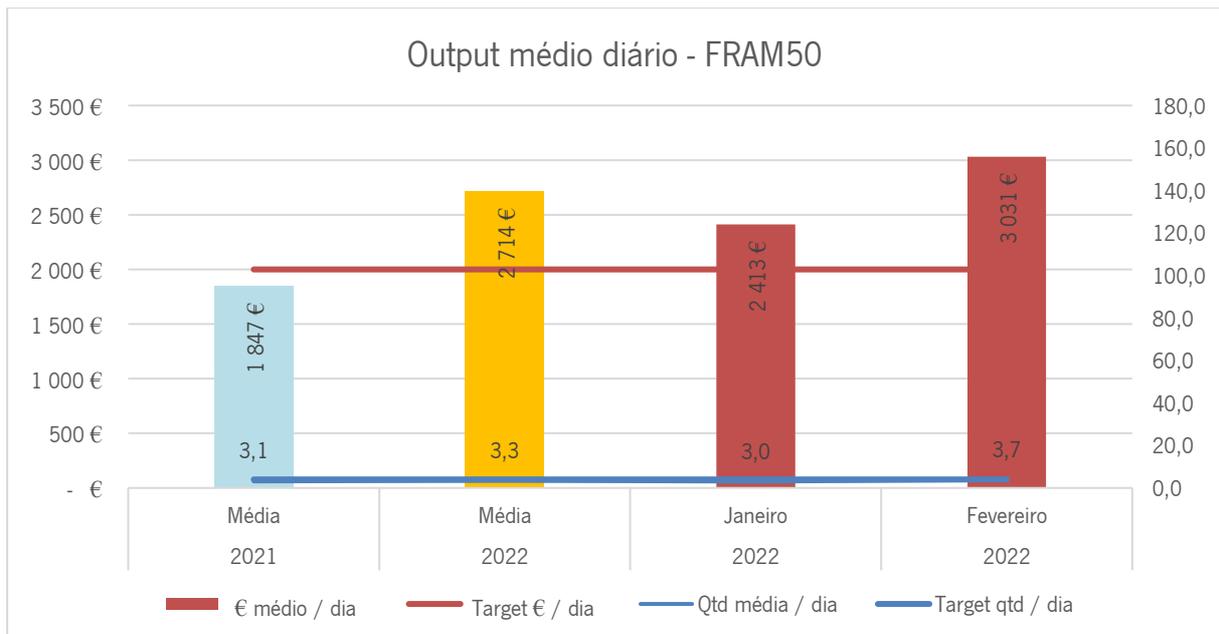


Figura 23. Output médio diário do FRAM50 até ao início do projeto.

4.4 Mapeamento do fluxo de valor

Tendo em conta o centro produtivo em questão, para se perceber melhor alguns dados do CM e eventuais problemas, realizou-se um *Value Stream Mapping* (VSM).

4.4.1 Análise da família de ferramentas mais vendida, em 2021

Para escolher a família de ferramentas para análise no VSM, fez-se uma análise às vendas de 2021, tanto em termos de quantidade - Figura 24, como em termos de valor monetário (€) - Figura 25.

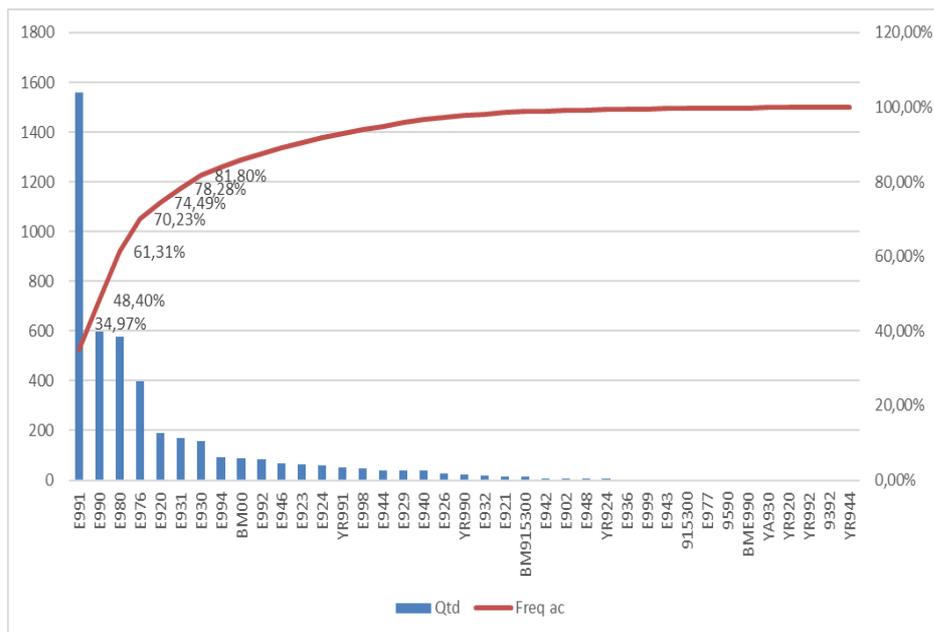


Figura 24. Distribuição de vendas de famílias no CM, em termos de quantidade, em 2021.

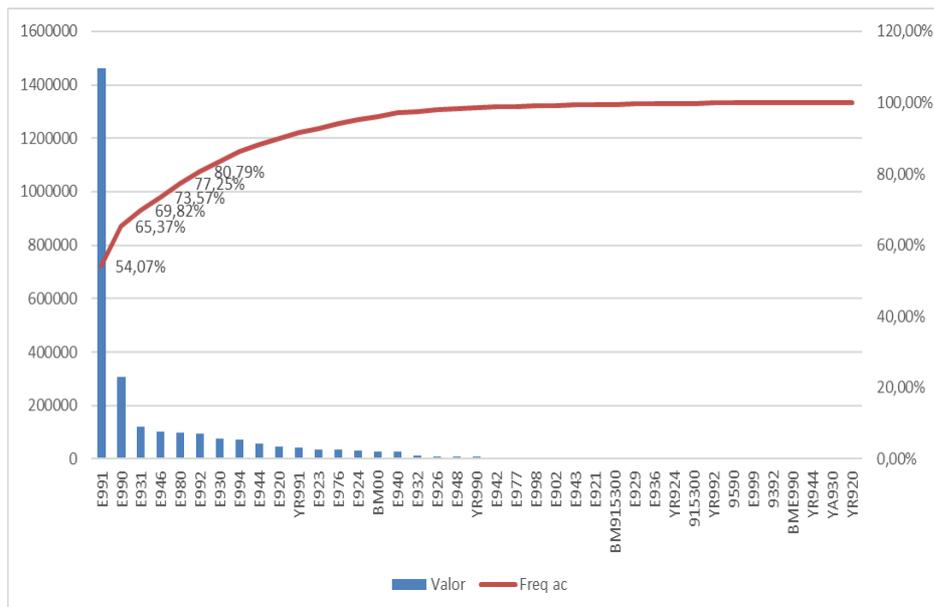


Figura 25. Distribuição de vendas de famílias no CM, em termos de valor monetário, em 2021.

Nela, concluiu-se que a família E991 foi a que originou mais vendas em termos de quantidade – 34.97%, e também em termos de valor monetário – 54.07%.

Esta família é constituída por fresas, brocas e mandris, sem revestimento, cujos cortantes são em PCD, e em que estes são colocados na ferramenta através da soldadura. Os canais desta ferramenta podem ser de dois tipos: helicoidais ou retos. O sistema de acoplação da ferramenta à máquina designa-se por *blank* HSK, vulgarmente designado por cone. Na Figura 26, é possível observar exemplos de ferramentas desta família.



Figura 26. Exemplos de ferramentas da família E991.

De notar ainda, com a análise da Figura 24 e da Figura 25, que a ferramenta de aperto mecânico que originou mais vendas em termos de quantidade foi a E931, e esta surge apenas em sexto lugar nesse *ranking*, e, em termos de valor monetário, também foi a mesma, surgindo em terceiro lugar, mas apenas com cerca de 4% de vendas. Isto é indicativo de que, pela Fresagem, passam maioritariamente ferramentas de construção soldada, e percebe-se isso pelos objetivos diários do centro.

4.4.2 *Value Stream Mapping* do Centro de Maquinagem

Posto isto, foi para a família abordada anteriormente – E991 - que se elaborou o VSM demonstrado na Figura 27, relativo ao CM.

A maioria dos dados que nele estão presentes são relativos ao ano de 2021 e aos primeiros dois meses de 2022 – até ao início do projeto -, como o *work-in-process* (WIP) entre postos ou o fator “qualidade” do OEE, obtido através do indicador recolhido, na empresa, da percentagem de NC.

Em relação à disponibilidade das máquinas, esta é sustentada pelos dados recolhidos durante algumas semanas iniciais do projeto, e que se encontram no Apêndice II – Disponibilidade das máquinas de Torneamento e Fresagem, isto, porque, até ao início do projeto, este indicador não era recolhido pela empresa.

Em ambos os centros, a disponibilidade poderá estar sobredimensionada, uma vez que foi obtida com a divisão do tempo de maquinação da máquina, em cada turno, pelo tempo desse turno. Contudo, este tempo de maquinação poderá conter formas de retrabalho, ou, então, atividades que não acrescentam valor, mas que exigem maquinação, contabilizando-se esse tempo no tempo de maquinação registado pela máquina automaticamente.

Por último, no que diz respeito ao fator “velocidade” do OEE, este não foi possível de calcular, uma vez que não existem dados de velocidade padrão das máquinas, para cada ferramenta. Dessa forma, o indicador que se abordará, no CM, não será o OEE, mas sim o OEE parcial, que resulta da multiplicação apenas dos fatores “disponibilidade” e “qualidade”.

Quanto ao VSM, como a empresa trabalha maioritariamente em termos monetários, tendo os seus dados em euros, resolveu-se elaborá-lo, tanto para o número de ferramentas, como em valor monetário. Sendo assim, para se fazer a conversão, tendo em conta o ano de 2021 e todas as vendas com passagem no CM, verificou-se que o preço médio de uma ferramenta da família E991 é de 924.83€. Como a conversão foi de valor monetário para quantidade, é normal o aparecimento de quantidades, quer de WIP, quer de procura, com casas decimais.

Observa-se, então, no VSM, que, no Torneamento, uma peça (pç), ou seja, uma ferramenta para o cliente, demora, em média, 40.05 minutos para ficar concluída numa máquina CNC. Contudo, existem duas máquinas CNC, que podem trabalhar em simultâneo, o que leva o tempo de ciclo do processo a ser de 20.03 minutos. O tempo de *setup* médio para este tipo de ferramentas é de 20.68 minutos. Além disso, neste PT, existem 2 operadores, distribuídos por 2 turnos diários de 8 horas, com intervalo de 10 minutos cada turno. Estes operadores também são responsáveis pelo processo seguinte, a Furação, ou seja, dividem-se entre estes dois processos. Neste posto, o WIP tem sido, em média, para ferramentas E991, de 13426.82€, que representa cerca de 14.52 ferramentas. A disponibilidade apresenta um valor médio, para as duas máquinas, de 51.92%, e a percentagem de NC detetadas no período analisado foi de 0.59%, o que indica que o fator “qualidade” do OEE é de 99.41%.

De notar que a empresa recolhe os dados de WIP totais, em termos de valor (€), diariamente em cada posto, e para se chegar ao WIP para apenas a família E991, multiplicou-se a média de WIP no posto pela percentagem, em termos de valor monetário, que as ferramentas E991 influenciam as vendas totais - 54.07%.

De seguida, vem a Furação, que se caracteriza por, numa máquina que requer um operador para a usar, fazer-se um furo central, na parte de trás da ferramenta, ou seja, no cone. Aí, são novamente os mesmos dois operadores do Torneamento que operam. Em relação a dados quantitativos, o WIP é de cerca de 12 peças, ou seja, 11097.96€; o TS é de 6.17 minutos e o TC de 8.33 minutos; e não foi associada nenhuma NC ao processo em questão, no período analisado.

Por último, no CM, para a família E991, vem a Fresagem de construção soldada, havendo três máquinas CNC que se dedicam à produção deste tipo de ferramentas, que são controladas por dois operadores, que trabalham apenas num turno diário de 8 horas, com intervalo de 10 minutos. Neste processo, o TS é de 22.57 minutos; o TC de 77.20 minutos, que, como as máquinas podem operar ao mesmo tempo, faz com que se consiga obter uma ferramenta a cada 25.73 minutos; a disponibilidade das máquinas, em média, de 60.18%; e a qualidade analisada, no período em questão, de 99.65%. O WIP médio de ferramentas E991 é de cerca de 14.84 ferramentas.

Tendo em conta o objetivo diário do CM (15500€), que, multiplicado pela percentagem de valor monetário de ferramentas E991 (54.07%), leva a uma procura diária de 8380.85€ de ferramentas deste tipo, calculou-se o *lead time* (LT) no centro, para todas as ferramentas, o qual apresenta um valor de 4.56 dias. Para este cálculo, teve-se em conta o objetivo diário e não a procura do cliente, pois o objetivo do projeto é começar a atingir esse objetivo, que está definido pela empresa também com base na procura do cliente e na capacidade do CM.

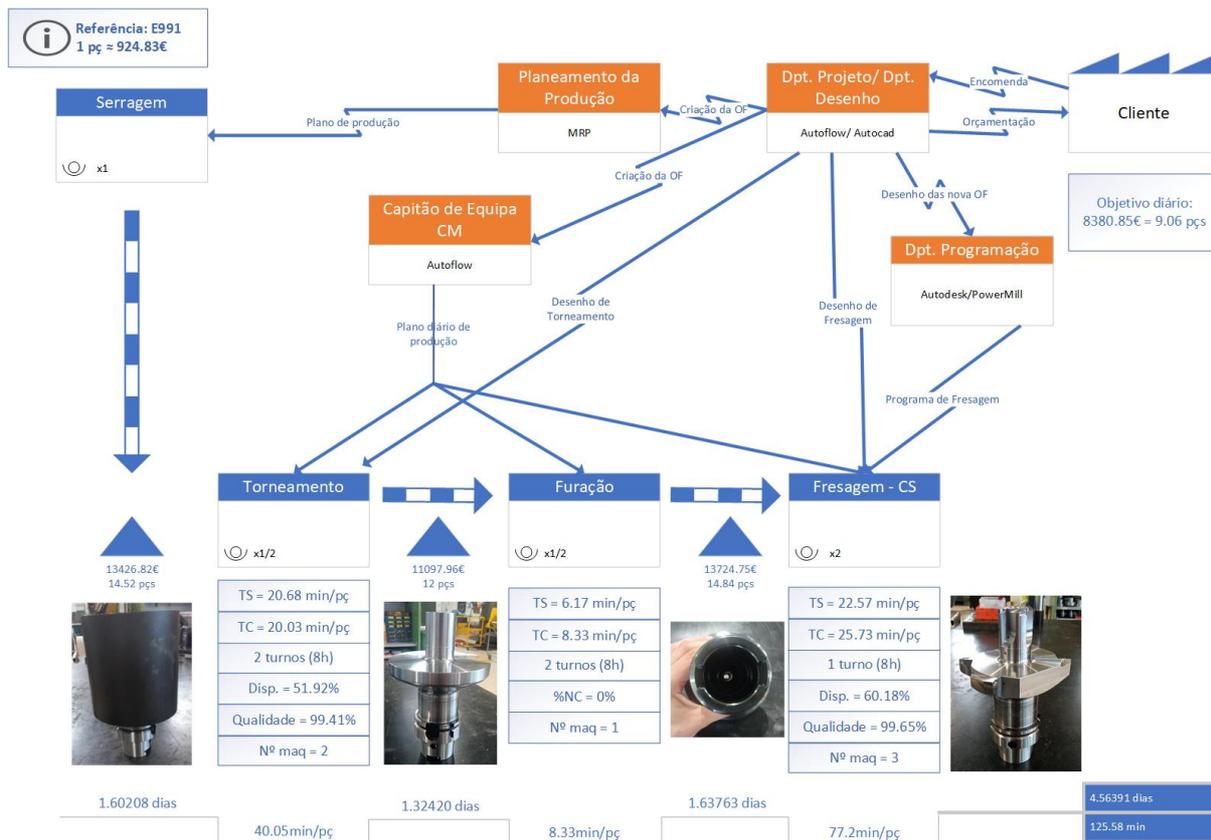


Figura 27. VSM do estado do CM, no início do projeto.

Quanto à percentagem de valor acrescentado, face ao tempo que as ferramentas passam pelo CM, esta foi calculada separadamente para o PT do Torneamento, que envolve os processos Torneamento e Furação, e para a Fresagem de CS, uma vez que os dois processos não têm os mesmos turnos. A fórmula de cálculo deste valor está presente na Equação 10.

$$\% \text{ valor acrescentado} = \frac{\text{Tempo de valor acrescentado}}{\text{Lead Time}}$$

Equação 10. Fórmula de cálculo da percentagem de valor acrescentado.

Com a Equação 11, é possível verificar que apenas 1.76% do tempo é de valor acrescentado, para este tipo de ferramentas, no PT do Torneamento.

$$\% \text{ valor acrescentado (PT Torneamento)} = \frac{40.05 + 8.33}{(1.60208 + 1.32420) \times (8 \times 60 - 10) \times 2} = 1.76\%$$

Equação 11. Percentagem de valor acrescentado no PT do Torneamento.

Já no que diz respeito à Fresagem de construção soldada, a percentagem de tempo de valor acrescentado é de 10.03%, como expresso pela Equação 12.

$$\% \text{ valor acrescentado (Fresagem - CS)} = \frac{77.2}{1.63763 \times (8 \times 60 - 10)} = 10.03\%$$

Equação 12. Percentagem de valor acrescentado no PT de Fresagem de CS.

Em relação ao *Takt Time*, este também foi calculado separadamente para o PT do Torneamento e para a Fresagem de CS, pela mesma razão indicada.

O cálculo deste tempo para o PT do Torneamento está representado na Equação 13, e mostra que o objetivo (34 ferramentas) é atingido, caso o TC das ferramentas E991 seja representativo da maior parte das ferramentas que passam no PT do Torneamento, pois este é menor que o TT (103.75 minutos).

$$TT (PT \text{ Torneamento}) = \frac{(8 \times 60 - 10) \times 2}{9.06} = 103.75 \text{ minutos}$$

Equação 13. Takt Time do PT de Torneamento.

No que diz respeito à Fresagem de CS, o TT de 51.88 minutos é obtido através da Equação 14, e mostra que o objetivo também é atingido, pois o TC (25.73 minutos) é menor que o TT.

$$TT (Fresagem - CS) = \frac{8 \times 60 - 10}{9.06} = 51.88 \text{ minutos}$$

Equação 14. Takt Time do PT de Fresagem de CS.

Tendo em conta estes dados, foram verificados os problemas principais no centro: elevado tempo de *setup* no Torneamento e na Fresagem, elevado WIP, baixa percentagem de tempo de valor acrescentado, e a baixa disponibilidade das máquinas CNC de ambos os PT.

Um facto importante é que no parâmetro “qualidade”, diretamente ligado à percentagem de NC, a empresa tem como objetivo, no centro, que este não seja inferior a 95%, o que está a ser cumprido exemplarmente, e, por isso, não será alvo de análise.

4.5 Descrição dos processos pertencentes ao Centro de Maquinagem

Para melhor se compreender cada um dos processos, e todas as suas etapas, realizou-se um gráfico de análise do processo (GAP) para cada um deles, para a família E991. Um facto importante é que, tanto no Torneamento, como na Fresagem, trabalha-se em lotes, consoante o tamanho da OF, e, tendo em conta os dados do período analisado para o VSM, os pedidos de ferramentas da família E991 são, em média, de 3 ferramentas. Ou seja, uma OF apresenta, em média, 3 ferramentas iguais.

Outro facto relevante é que, no PT do Torneamento, que contempla os processos de Torneamento e Furação, apenas se picam uma vez as caixas no *Autoflow*, não havendo distinção, nessa plataforma, e nos dados que abrange, entre os processos Torneamento e Furação.

Posto isto, existem também algumas alterações nos GAP realizados, em relação aos comuns GAP, definidos no Capítulo 2.4.4. Assim, estes GAP foram realizados, tendo por base o operador, e não as ferramentas, ou seja, um transporte poderá indicar, tanto o movimento do operador com uma ferramenta, como uma movimentação deste, sem levar material.

Além disso, estes GAP foram realizados para se verificar o tempo de *setup* e o tempo de ciclo das ferramentas em cada centro, não importando, por isso, os tempos de armazenamento das ferramentas à espera pelo próximo processo, sendo que isso já está sumarizado no VSM, no tempo de valor não acrescentado antes de cada centro. Por exemplo, o tempo que uma ferramenta fica em *buffer* na Fresagem não está definido no GAP, pois não define o *setup* da ferramenta.

Por último, é importante indicar que, apesar de o Capítulo 2.4.4 referir que, num GAP, uma operação refere-se a um processo, que resulta na alteração de um produto, nos GAP realizados ao longo desta dissertação, as operações destacam também atividades elementares como pegar em algo, colocar algo num local, ou montar algo, uma vez que estes gráficos estão muito detalhados, e os transportes definem levar algo de um sítio para outro, mas depois existe a operação, mais detalhada, de deixar esse material no novo local, sendo que o movimento de volta, já sem o material, volta a ser um transporte, pois definiu-se que a categoria “transportes” descreve tanto transportes como movimentações.

4.5.1 Etapas do Torneamento

Em relação ao Torneamento, as ferramentas sofrem uma transformação, ficando com o perfil definido, tal como ilustra o exemplo da Figura 28.



Figura 28. Exemplo de transformação ocorrida no Torneamento, numa ferramenta da família E991.

Tal como introduzido anteriormente, este processo é feito por partes, não sendo contínuo, e havendo paragens, para medições e controlos, entre as diversas operações que o constituem. Isto poderia ser motivo para o processo de Torneamento ser dividido no VSM, representando todas essas operações no lugar do Torneamento, com o *setup* de cada uma delas. Porém, optou-se por contabilizar todo esse *setup*, e todas essas operações numa só, criando um único TS e um único TC, uma vez que existem operações de *setup* que são necessárias para mais do que uma operação de valor acrescentado.

Sendo assim, o Torneamento divide-se em várias etapas, descritas no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento, onde as operações que estão com cor verde representam as atividades que acrescentam valor e que, por isso, constituem o TC do Torneamento.

Verificando o gráfico de análise de processo do Torneamento, e os dados do início do projeto, tem-se que, para um lote de três ferramentas, cerca de 44 minutos são gastos com operações sem valor acrescentado e cerca de 2 horas acrescentam valor ao lote; 10.63 minutos representam transportes; quase 7 minutos são gastos em inspeções, quer da ferramenta, como das ferramentas de maquinação utilizadas para a maquinar; 23 segundos são esperas, que, neste caso, são procuras de material de maquinação; e 1 segundo é armazenamento, que foi o considerado por se colocar a caixa no PT seguinte. Assim, o Torneamento fica definido pelos processos:

- 1) Programação: O operador vê o desenho de Torneamento, realizado no Departamento de Desenho, e prepara-o, no PC, para fazer o programa para a máquina CNC onde vai ser realizado o torneamento à ferramenta. Esta preparação do desenho engloba a retirada de cotas não importantes, e a passagem apenas para o desenho de perfil da ferramenta. Segue-se a fase da programação propriamente dita, onde o operador realiza o programa para a máquina, a partir do desenho construído anteriormente.
- 2) Troca de aperto: Não necessária em todas as mudanças de OF, a troca do sistema de aperto caracteriza-se por uma mudança algo demorada da forma como a ferramenta acopla na máquina para ser maquinada. Nela, existe ainda um controlo do batimento do aperto, que se caracteriza por retificar o aperto, de forma que ele não origine uma grande vibração da ferramenta que a ele vai ser acoplada, enquanto esta está a ser maquinada.
- 3) Início das operações na máquina: Antes de se fazer qualquer uma das operações à ferramenta na máquina, é necessário chamar o programa para a máquina, o que na TN-0015 necessita de ser feito no computador do PT, pois esta máquina não tem ligação direta à rede.

- 4) Operações de valor acrescentado: Estas operações são as que definem o estado em que a ferramenta deve chegar ao PT seguinte, e cujo objetivo é conceder à ferramenta o perfil pretendido pelo cliente. Porém, pelo meio delas, existem alguns controlos e trocas de ferramenta necessárias, uma vez que se trabalha em lotes.
- a. Desbaste à face: Esta operação é a primeira a acrescentar valor às ferramentas. Tira grande parte do material da ferramenta, que vem em excesso da Serragem, colocando a ferramenta muito próxima da cota correta de comprimento. No fim de a fazer a todas as ferramentas do lote, existe um controlo do batimento ao aperto novamente, uma vez que esta operação pode gerar a perda de calibração do aperto, dado o esforço que exige, e o desgaste normal das ferramentas de maquinaria utilizadas para a fazer. Assim, este controlo do batimento garante que as seguintes operações são realizadas com qualidade.
 - b. Ponto: Esta operação caracteriza-se por fazer um pequeno furo, denominado ponto, na parte frontal da ferramenta, e, apesar de não acrescentar valor, é necessária. Isto, pois é nesse ponto que o contraponto da máquina vai encostar, para garantir estabilidade à ferramenta para fazer operações ao seu diâmetro.
 - c. Acabamento à face: Depois de realizado o desbaste à face, é necessário fazer o acabamento. Este garante à ferramenta uma melhor qualidade na face frontal. Mais uma vez pautado pelo controlo sobre todas as operações, no fim desta operação, a primeira ferramenta do lote é retirada da máquina, para ser controlada a cota comprimento, num utensílio denominado altímetro.
 - d. Desbaste ao diâmetro: Concluídas as operações à face, segue-se o diâmetro. Começando pelo desbaste, podem existir paragens intermédias neste processo, definidas pela mudança de ferramenta de maquinaria, uma vez que esta operação pode utilizar várias ferramentas de maquinaria, e é controlada a ferramenta para o cliente entre elas, e chamada a próxima ferramenta de maquinaria, no programa. Este processo de paragem intermédia para mudança de ferramenta de maquinaria é vulgarmente conhecido como “cabeçalho”. No fim do desbaste ao diâmetro a todas as ferramentas do lote, executa-se novamente um controlo ao batimento do aperto, pelas mesmas razões que foram enunciadas no desbaste à face.

- e. Acabamento ao diâmetro: Mais uma vez para garantir um aperfeiçoamento da ferramenta, mas desta vez a nível do diâmetro, é executado o acabamento. No fim da primeira vez que ele é feito, são novamente controladas as cotas, tal como no acabamento à face, mas desta vez num processo mais simples, uma vez que a ferramenta não tem de ser retirada da máquina, pois pode ser controlada com o paquímetro presente num dos armários do PT. Desta vez, este processo é feito uma primeira vez com o *offset* subido, ou seja, com as cotas maiores que o pretendido, pois trabalha-se com tolerâncias de micrómetros, e a vibração da ferramenta de maquinação ou do aperto pode causar uma maior abrasão da ferramenta que o necessário, originando uma NC. Depois de controladas as cotas uma primeira vez, estas são enviadas para a medida correta, num método que pode ser iterativo, caso a ferramenta ainda fique com o *offset* subido após a tentativa de o acertar.
 - f. Furar pela frente: Esta operação caracteriza-se por fazer um furo na parte frontal da ferramenta, de acordo com o pretendido pelo cliente. Esse furo, caso seja de maiores dimensões, pode também ser denominado de caixa. Nem todas as ferramentas necessitam desse furo ou caixa. Para esta operação, é necessário ir buscar uma ferramenta de maquinação ao armário do TN-0020 – normalmente, uma broca - e colocá-la na máquina. E o furo ou a caixa só fica concluído após a operação de escarear, que é basicamente fazer um chanfro na parte interior do furo.
- 5) Findadas as operações de Torneamento na CNC necessária, as ferramentas pertencentes ao lote são colocadas na caixa, e levadas para o PT seguinte: Furação, se estas levarem furo central na parte de trás; ou Fresagem, caso contrário.
- 6) Fechar OF: No fim de todas as operações, é preciso levar as caixas ao PT seguinte e preencher a *checklist* associada à OF em questão, para se dar o término da passagem da caixa pelo PT em questão. Um facto importante é que ferramentas que não sejam furadas no TN-0020 vão diretamente para a Fresagem e, neste caso, o processo de fechar a OF também engloba picar a caixa no computador do centro, no *Autoflow*, indicando para onde a caixa acaba de seguir, uma vez que, tal como já referido, não existe distinção, na picagem de caixas, entre o Torneamento e a Furação.

4.5.2 Etapas da Furação

Tal como apresentado no Apêndice IV – Gráfico de análise de processo da Furação, este processo divide-se em várias etapas, e é também realizado em lotes, havendo operações que só acontecem uma vez para cada OF – marcadas a azul, e denominadas de *setup* único. Todas as restantes são realizadas tantas vezes, quanto o número de ferramentas que constitui a OF, que, tal como no Torneamento, é, em média, 3 ferramentas, representando o *setup* repetido. Assim, o tempo de *setup* médio para cada ferramenta da família E991, na Furação, é de 6.17 minutos, e pode ser representado pela Equação 15.

$$\text{Setup médio (Furação)} = \frac{\text{Setup único}}{3} + \text{Setup repetido} = \frac{74}{3} + 5 \times 60 + 45 = 369.667 \text{ seg} = 6.17 \text{ min}$$

Equação 15. Tempo de setup médio da operação de Furação, para uma ferramenta da família E991.

Depois de retirar as ferramentas da caixa, colocam-se em cima do armário do TN-0020. Estas são depois colocadas, uma de cada vez, no TN-0020, para, primeiramente, se calibrar a ferramenta, de maneira que o furo que se faz a seguir seja executado centralmente, de forma perfeita, e não com algum ângulo de inclinação. Para a Furação propriamente dita, começa-se por usar uma broca mais dura, para retirar a dureza inicial do cone da ferramenta, pois este é muito resistente. Quando essa resistência começar a diminuir, a broca é trocada, para continuar o furo, na parte menos resistente da ferramenta. Por último, tal como no Torneamento, fecha-se a OF.

Um exemplo da transformação que ocorre neste processo e que ilustra o que foi descrito é o que está na Figura 29.

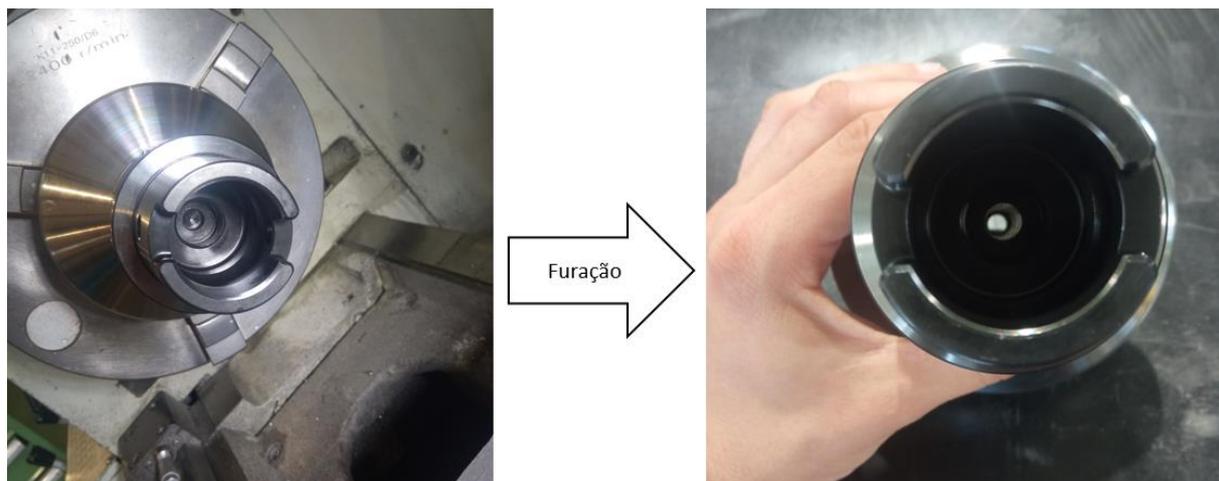


Figura 29. Exemplo de transformação ocorrida na Furação, numa ferramenta da família E991.

Neste processo, para um lote de 3 ferramentas, cerca de 9 minutos são gastos em operações que não acrescentam valor e 25 minutos são de valor acrescentado; 4 minutos e 37 segundos são gastos com transportes, quer de material de maquinação, quer da própria ferramenta; 4 minutos e 32 segundos são

gastos com inspeções, como, por exemplo, inspecionar se o diâmetro da broca necessária para furar é o correto; 11 segundos são gastos com esperas, como a procura de material, e 1 segundo é relativo ao armazenamento da ferramenta.

4.5.3 Etapas da Fresagem de construção soldada

Depois de torneadas e furadas, as ferramentas são fresadas, num processo que lhes confere as características pretendidas pelo cliente em termos de formato, para garantir que a ferramenta cumpre com aquilo para o qual é necessária. Desta forma, é na Fresagem que são feitos os furos necessários à lubrificação da ferramenta ou o formato dos encaixes, para depois se soldarem os *bits* de PCD. Como exemplo desta transformação, é apresentada a Figura 30.

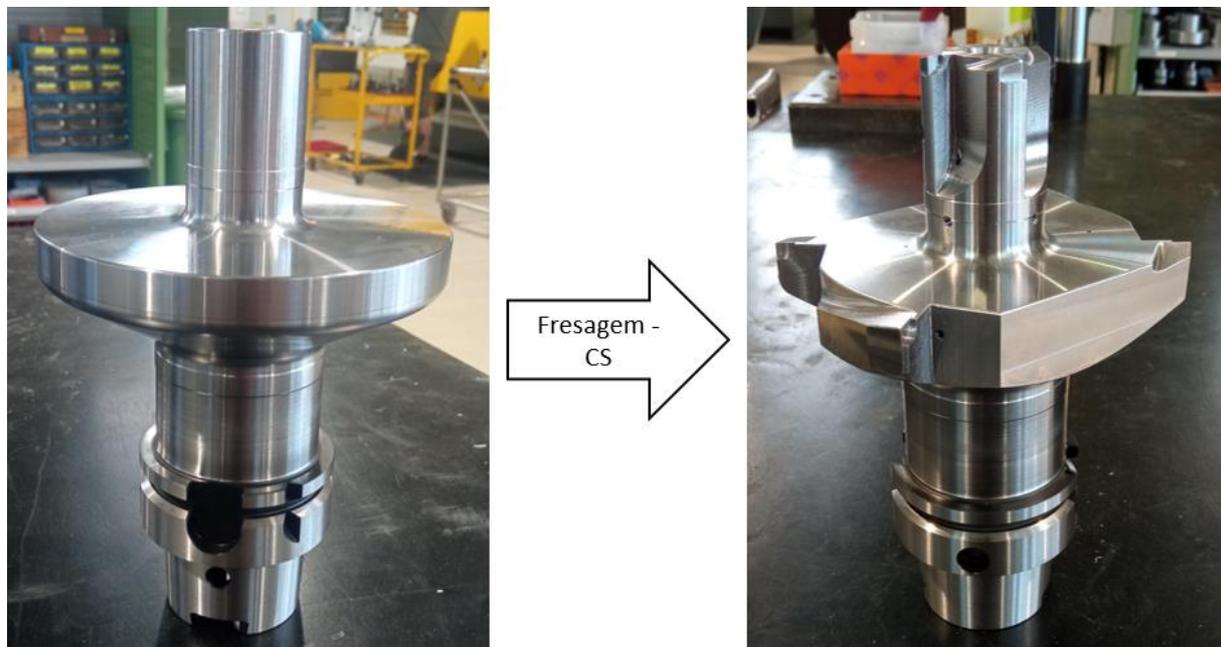


Figura 30. Exemplo de transformação ocorrida na Fresagem de CS, numa ferramenta da família E991.

Tal como apresentado no Apêndice V – Gráfico de análise de processo da Fresagem de CS, este processo divide-se em várias etapas, e é também realizado em lotes. Por isso, à semelhança do que foi apresentado para a Furação, também se marcou, no GAP, as etapas que se caracterizam como *setup* único – cor azul - ou como *setup* repetido para todas as ferramentas do lote. Assim, o tempo de *setup* médio para cada ferramenta da família E991, na Fresagem – CS, é de 22.57 minutos, e pode ser representado pela Equação 16.

$$\text{Setup médio (FRES)} = \frac{\text{Setup único}}{3} + \text{Setup repetido} = \frac{26 \times 60 + 49}{3} + 13 \times 60 + 38 = 1354.33 \text{ seg} = 22.57 \text{ min}$$

Equação 16. Tempo de setup médio para a Fresagem de construção soldada, para uma ferramenta da família E991.

Posto isto, as operações que constituem a Fresagem de construção soldada dividem-se da seguinte forma:

- 1) Troca de aperto da máquina: Semelhante ao que acontece no Torneamento, este processo também não ocorre sempre, mas apenas se as ferramentas de OF seguidas tiverem sistemas modulares diferentes. Neste caso, também é controlado o batimento deste aperto, para ser equilibrado.
- 2) Obter coordenadas da ferramenta: Na Fresagem, a máquina trabalha a mais eixos do que no Torneamento e, por isso, é necessário indicar, inicialmente, no programa da máquina, qual a posição exata da ferramenta, quando é colocada na máquina. Para isso, e devido ao número de eixos em que trabalha, na ferramenta, para além de ser indicada a coordenada inicial em termos de “z” – vulgarmente conhecida como “tirar 0 ao aperto” -, é também necessária a coordenada em “a” – “indexar radialmente a ferramenta” -, para o qual é necessário o instrumento nível.
- 3) Verificar/ corrigir programa: Nesta etapa, os operadores recebem o programa de Fresagem, vindo do Dpt de Programação, e corrigem os dados que não estão corretos, que são essencialmente a posição das ferramentas de maquinação e a sua velocidade de rotação.
- 4) Medir ferramentas de maquinação: Com base no programa e nas ferramentas de maquinação necessárias, os operadores vão medir essas ferramentas, deslocando-se a uma máquina própria para isso – *Zoller*.
- 5) Trocar ferramentas de maquinação: Após medidas, as ferramentas são colocadas na torreta da máquina, retirando-se as que, no momento, estavam a ocupar as posições necessárias. E as medidas dessas ferramentas são, então, indicadas no monitor da máquina, ao observarem-se as etiquetas que a máquina de medição gerou, contendo o comprimento das ferramentas de maquinação.
- 6) Fresagem: O processo em si, que determina o formato da ferramenta. Ainda assim, este não é executado de uma só vez, pois, à semelhança do que acontece no Torneamento, mas com muita mais frequência, existem paragens sempre que se vai recorrer a uma nova ferramenta de maquinação, presente na torreta da máquina – “cabeçalhos”. Nelas, o operador verifica

cuidadosamente a aproximação da nova ferramenta de maquinação, à ferramenta para o cliente, e pode também verificar o estado da ferramenta para o cliente, ou verificar a parte do programa com a nova ferramenta de maquinação.

- 7) Controlar ferramenta: Terminada a fresagem, o operador verifica as condições das ferramentas de maquinação, pois estas podem ter-se deteriorado durante o seu processo de maquinação, e ser, com isso, necessário repetir alguma operação. Além disso, também verifica se a ferramenta para o cliente está de acordo com o pretendido, quer visualmente, quer manualmente, ao ir buscar os *bits* de PCD ou pastilhas simuláveis destes, e verificando se assentam corretamente nas superfícies necessárias. Como último controlo da ferramenta, e já depois de retirar esta da máquina, o operador verifica os furos de lubrificação – furos interiores com diâmetro reduzido, que permitirão o líquido de lubrificação passar na ferramenta, enquanto esta maquina –, com uma pistola de ar.
- 8) Finalizar ferramenta: Conjunto de processos que servem para aperfeiçoar a ferramenta, tendo em conta aquilo que a fresagem possa não ter deixado tão bem executado.
 - a. Rebarbar: Esta operação é feita principalmente com uma lima, e serve para retirar algumas imperfeições que a ferramenta possa ter ficado após a fresagem, como por exemplo as presentes na Figura 31.

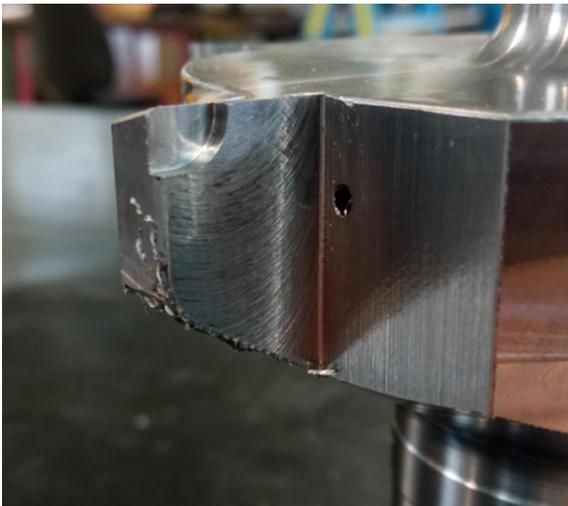


Figura 31. Imperfeições resultantes da fresagem, que são retiradas com rebarbagem.

- b. Afundar a equilibragem: Tal como a rebarbagem, este processo é executado para aperfeiçoar o que possa não ter ficado tão bem durante a fresagem, neste caso, os furos de equilibragem. Estes furos são necessários para, na Montagem, se equilibrar a

ferramenta, caso seja necessário. Basicamente, na Montagem verifica-se se a ferramenta está distribuída uniformemente ao longo do eixo central e, caso tenha mais massa em alguma parte, colocam-se pernos/parafusos no lado oposto, nestes furos executados na Fresagem, até equilibrar a ferramenta.

c. Aplicar óleo: Operação feita no cone da ferramenta, para evitar que este oxide.

- 9) Fechar OF: Por último, dá-se o processo normal de fechar a OF, ao preencher-se a *checklist* associada, picar-se a caixa associada à OF no computador, indicando o fim da passagem das ferramentas no PT da Fresagem, e levando-se a caixa da OF ao PT seguinte.

Tal como é apresentado no final do Apêndice V – Gráfico de análise de processo da Fresagem de CS, para um lote de 3 ferramentas, o tempo de *setup* é constituído por: 48 minutos e 6 segundos, relativos a operações que não acrescentam valor; 8 minutos e 40 segundos são transportes; 10 minutos e 56 segundos para inspeções e confirmações de material de maquinaria e da ferramenta para o cliente; 1 segundo relativo à colocação da ferramenta acabada no PT seguinte - armazenamento. Já no que ao TC diz respeito, para as 3 ferramentas, ele é de 3 horas, 51 minutos e 36 segundos, ou seja, para uma ferramenta apenas, é de 1 hora, 17 minutos e 12 segundos, tal como já tinha sido apresentado no VSM presente na Figura 27.

4.6 Análise aos problemas do Torneamento

Depois de se ter verificado que a disponibilidade das máquinas de Torneamento era baixa, no VSM, foi importante verificar as causas para tal situação, entre outros problemas. Escolheu-se, assim, atuar essencialmente sobre a disponibilidade, pois esta está relacionada com todos os outros problemas encontrados no VSM.

4.6.1 Problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento

Partindo da observação diária do centro produtivo, detetaram-se várias causas para a baixa disponibilidade das máquinas CNC de Torneamento, que se podem dividir em 5 parâmetros principais, tal como descreve o diagrama de *Ishikawa* presente na Figura 32: mão-de-obra, método, máquina, material e meio-ambiente.

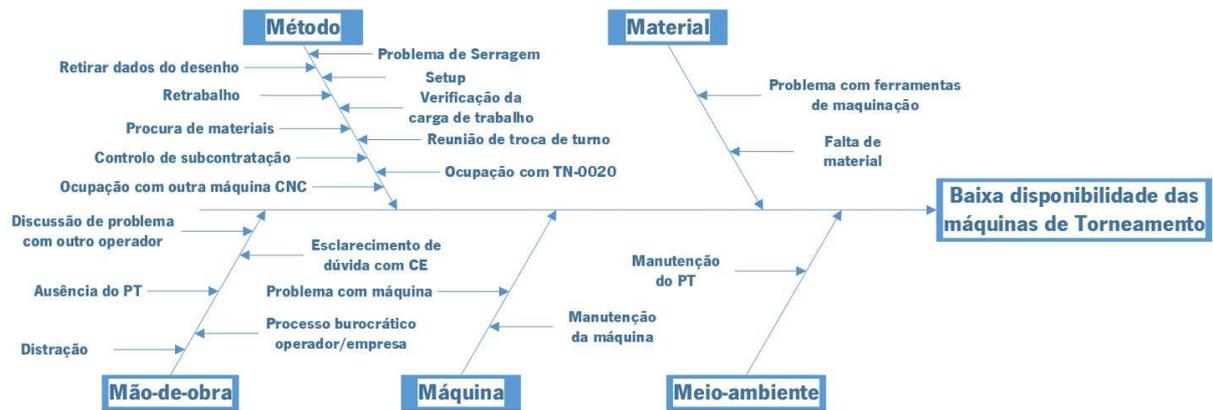


Figura 32. Diagrama de Ishikawa relativo à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento.

Sendo assim, no que diz respeito ao método, destacam-se vários problemas que originam a paragem de máquinas:

- Problema de Serragem, que se refere à troca de ideias entre o operador do Torneamento e o operador de Serragem, devido a ferramentas não virem dentro das especificações necessárias, como, por exemplo, o comprimento defeituoso;
- Retirar dados do desenho, que não vieram do Departamento de Desenho;
- Tempo de *setup*;
- Retrabalho, que se caracteriza por fazer mais do que uma vez a mesma operação, porque esta não estava correta na primeira vez;
- Verificação da carga de trabalho, para confirmar o que deverá entrar a seguir no posto de trabalho;
- Procura por materiais necessários à maquinação da ferramenta;
- Reunião de troca de turno, que serve para o operador do 2º turno perceber o estado do trabalho no PT;
- Controlo de subcontratação, que se resume ao controlo após determinada ferramenta ter tido alguma operação pertencente ao Torneamento subcontratada, e ser necessário controlar a forma como esta regressa à empresa;
- Ocupação com TN-0020, essencialmente devido ao operador das CNC de Torneamento também ser responsável pela Furação no TN-0020;

- Ocupação com outra máquina CNC. Como o operador é responsável pelas duas máquinas CNC, muitas vezes uma delas está parada porque o operador está ocupado com a maquinação da outra.

Em relação à mão de obra, destacam-se os seguintes problemas, que originam a baixa disponibilidade das máquinas:

- Discussão de problema com outro operador;
- Esclarecimento de dúvida com capitão de equipa do centro, que pode ser sobre a carga de trabalho no posto, o planeamento diário, etc;
- Distração, que se baseia essencialmente em conversa com outros operadores, sobre temas que não o trabalho no PT;
- Ausência do PT, que se caracteriza por o operador sair do PT para algo que não esteja relacionado com o trabalho no PT, como, por exemplo, prolongar o tempo de intervalo;
- Processo burocrático entre operador e empresa. Neste caso, estão contidas as respostas a *e-mails*, a justificação de faltas no portal do colaborador, entre outras.

Quanto às máquinas, observam-se as seguintes causas para a baixa disponibilidade:

- Problemas com máquinas, como avarias.
- Manutenção da máquina, podendo ser aumentar o nível de lubrificação, ou então, num caso mais específico, retirar as limalhas, de forma manual, das máquinas.

No que diz respeito ao material, observam-se os problemas:

- Falta de material necessário à maquinação das ferramentas, o que origina esperas por este ou procura noutros PT por ele;
- Problemas com ferramentas de maquinação, como, por exemplo, brocas partidas ou pastilhas das ferramentas de maquinação deterioradas após algum tempo de uso, sendo necessário substituí-las.

Por último, em relação ao meio-ambiente, as máquinas param algumas vezes para:

- Manutenção do PT, como, por exemplo, varrer as limalhas que o TN-0020 origina, ou limpar o líquido de lubrificação que fica mal limpo nas ferramentas após estas saírem da máquina, e acaba por sujar o chão.

4.6.2 Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, no Torneamento

Para se verificar, dentro das causas que originam a baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento, qual o impacto de cada uma, realizou-se uma análise a 2 turnos de cada um dos operadores do PT em questão, e a cada máquina. Nessa análise, recolheu-se o tempo de paragem de cada máquina – TN-0015 e TN-0016 – e a razão por qual essas máquinas paravam. Com base nessa análise, foi realizado o diagrama de *Pareto* presente na Figura 33, que tem como base os dados da Tabela 43, do Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas.

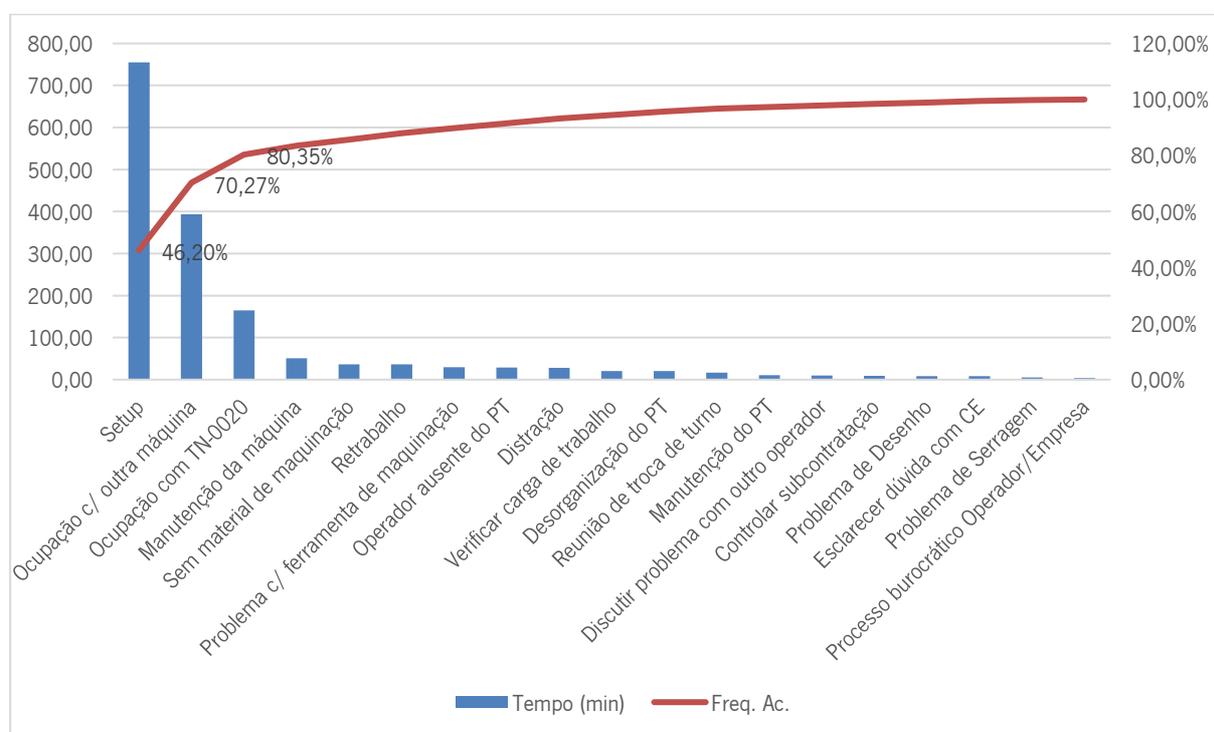


Figura 33. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento.

Nesta análise, foi possível perceber que cerca de 80% do tempo de paragem das máquinas é resultado do *setup* – 46.20%, da ocupação com a outra máquina CNC – 24.07% e da ocupação com a TN-0020 – 10.08%, que maioritariamente se prende com a operação de Furação.

Ainda assim, embora esta análise seja relativa às duas máquinas, importa destacar apenas uma delas, a TN-0015, uma vez que, nesta máquina, existe outro problema pertencente a 80% do tempo de máquina parada – o tempo de manutenção da máquina, que é responsável por 3.84% do tempo paragem de máquina, tal como demonstrado na Figura 34.

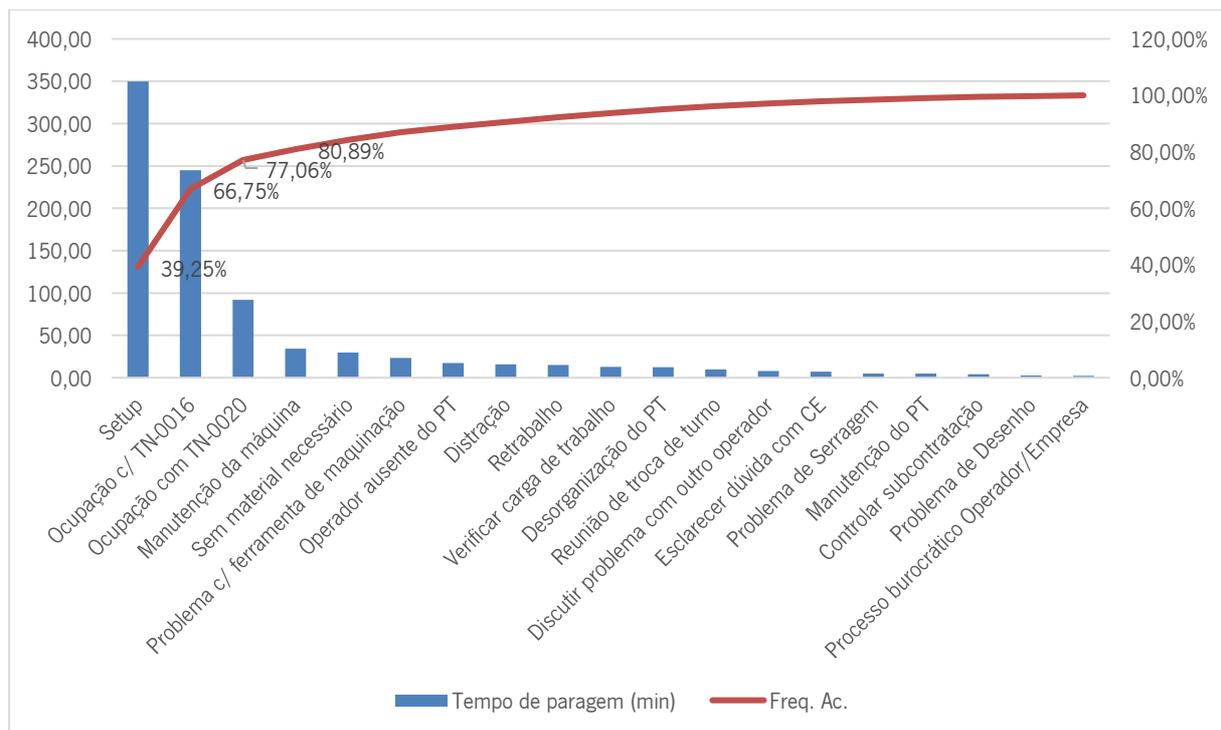


Figura 34. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade da máquina TN-0015.

4.6.3 Distribuição do tempo de *setup* que afeta a disponibilidade, no Torneamento

Com a análise anterior, percebeu-se que o *setup* é o principal responsável para as paragens das máquinas de Torneamento, porém, esse *setup* engloba várias etapas, tal como já demonstrado no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento. Assim, tornou-se importante também verificar que etapas são as principais responsáveis por esta paragem de máquinas, dentro do tempo de paragem total por *setup*. A Figura 35 ilustra os resultados obtidos com essa análise. Nela, pode-se verificar essencialmente que a etapa de *setup* do Torneamento que origina maior paragem de máquinas é a troca de ferramenta da mesma OF, ou seja, quando se repete a operação anterior noutra ferramenta pertencente à OF, algo que acontece porque se trabalha em lotes, ou seja, por exemplo, quando se faz o desbaste a uma ferramenta de uma OF e depois não se continuam as seguintes operações na mesma ferramenta, mas troca-se, na máquina, para outra ferramenta da OF para também ser realizado o desbaste; seguida da troca de operação, dentro da mesma OF, que contém as chamadas da parte do programa que vai entrar a seguir e poderá conter alguns controlos visuais da ferramenta.

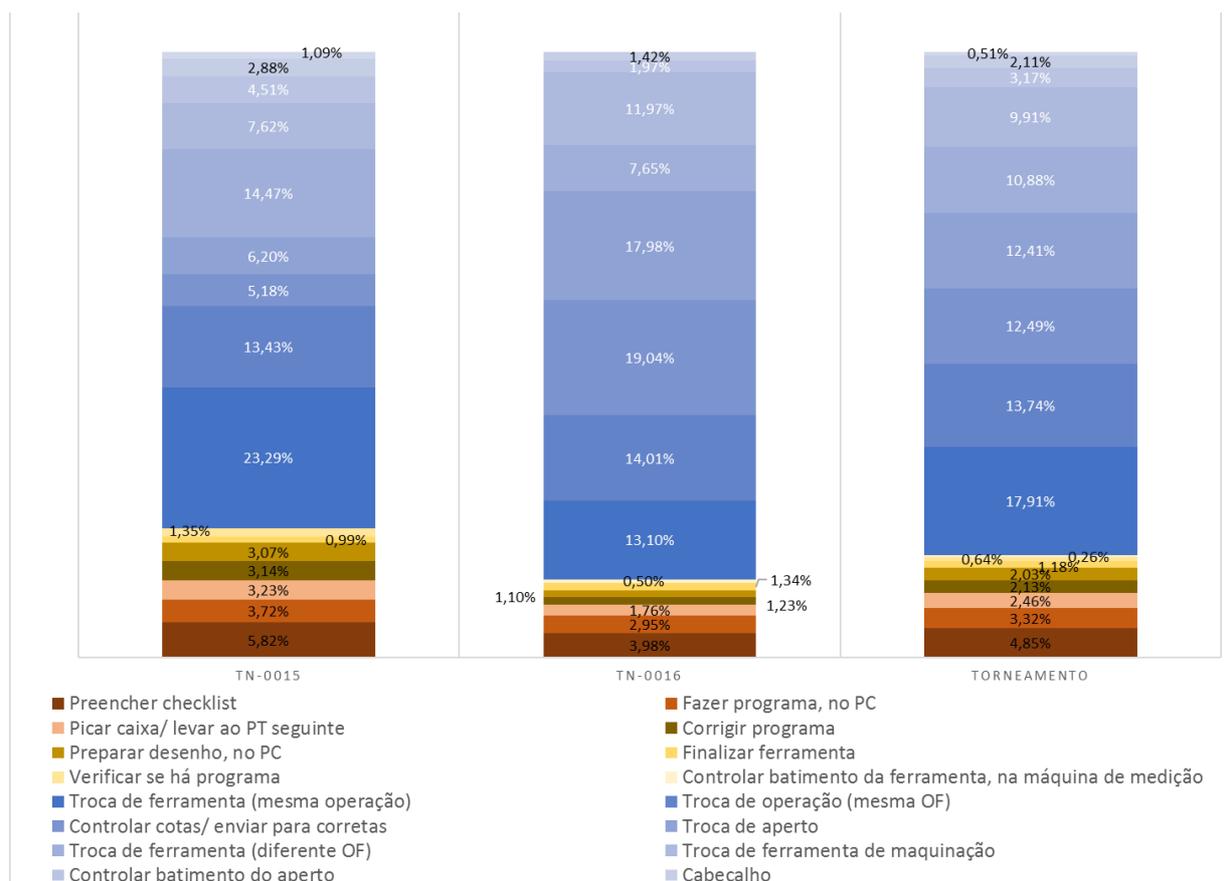


Figura 35. Distribuição do setup, que origina paragens das máquinas de Torneamento.

4.6.4 Causas-raiz dos problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Torneamento

Tendo em conta os problemas que originam 80% do tempo de paragem das máquinas, foi feita uma análise para identificar as causas desses problemas, para, com isso, poder atuar nessas causas. Para tal, utilizou-se a ferramenta “5 Porquês”, tal como indicado na Tabela 5.

Assim, pode-se verificar que, para o problema “*setup* elevado”, a causa-raiz assenta no facto de existirem muitos desperdícios nesse *setup*. Este é um problema genérico, onde não foi tão útil os “5 Porquês”, mas sim o GAP realizado, em que dá para identificar os principais desperdícios a nível de *setup*.

Quanto à paragem de uma máquina por o operador estar ocupado com a outra máquina CNC, isto deve-se aos problemas apontados em geral, na Figura 32, para as paragens das máquinas, e que levam o operador a estar concentrado na outra máquina, para colocá-la a maquinar novamente. Mas, para além disso, não existe um procedimento que define o critério para escolher a máquina a atuar, quando ambas estão paradas, podendo o operador atuar numa cuja operação necessária seja demorada, quando a outra começaria novamente a maquinar com uma operação mais simples.

Tabela 5. "5 Porquês" para as principais causas que resultam na baixa disponibilidade no Torneamento.

Problema	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
1) Setup elevado.	Vários desperdícios no <i>setup</i> das operações.				
2) Ocupação com outra máquina CNC.	Operador escolhe máquina a atuar, quando ambas estão paradas, quase de forma aleatória.	Operador não tem critério definido para escolher máquina a atuar, quando ambas estão paradas.	Não existe um procedimento que define o critério para escolher a máquina a atuar, quando ambas estão paradas.		
	Problemas apresentados para paragens de máquinas.				
3) Ocupação com TN-0020.	Operador tem de fazer processo de furação, para este processo não ser "bottleneck".	Operador responsável por ambos os processos: Torneamento e Furação.			
	Operador tem de retificar/ polir cones.	Cones vão para a Fresagem com marcas/ danificados.	Cones ficam danificados nas máquinas de Torneamento.	Apertos onde cones acoplam nas máquinas não são bem limpos entre operações.	Processo de limpar cones com risco de ser mal executado, por ser feito com pistola de ar.
4) Manutenção da TN-0015.	Alta frequência de necessidade de operador retirar limalhas da TN-0015.	Retirar limalhas da máquina TN-0015 é feito de forma manual pelo operador.	TN-0015 não filtra limalhas automaticamente.	Tapete da TN-0015 avariado.	

Em relação à ocupação com a TN-0020, isto deve-se essencialmente ao facto de o operador ser responsável tanto pelo processo de Furação, como pelo de Torneamento. A juntar a isso, é também na TN-0020 que os operadores retificam os cones, polindo-os com uma lixa. Isto acontece, uma vez que os operadores da Fresagem reclamam que estes cones das ferramentas estão deteriorados e vão gerar problemas de maquinação. A razão para esta deterioração é o facto de que, como se trabalha em lotes, as ferramentas estão sempre a ser colocadas e retiradas da máquina para fazer cada uma das operações, a cada uma das ferramentas da OF. Durante esta troca, podem ficar limalhas, resultantes da maquinação, no aperto presente na máquina, e, como o operador limpa o aperto com a pistola de ar, estas podem persistir mesmo após essa limpeza, fazendo com que o cone da ferramenta, ao ser inserido na máquina, e no aperto, exerça pressão sobre essas limalhas, e fique marcado/ deteriorado.

E, em relação ao problema específico na TN-0015, manutenção da máquina, este tem a ver essencialmente com o facto de o operador ter de realizar manualmente o processo de retirar as limalhas da máquina, resultantes da maquinação das ferramentas, por o tapete desta máquina estar avariado. À medida que a máquina vai trabalhando, acumula então as limalhas, tal como ilustra a Figura 36,

chegando a um ponto em que é impossível continuar a maquinar, e o operador tem, então, de retirar essas limalhas manualmente.



Figura 36. Limalhas acumuladas na TN-0015.

Tendo em vista toda esta análise, importa também realçar a causa-raiz das máquinas estarem paradas constantemente, quer por se estar na outra máquina CNC, quer por se estar na TN-0020, por se fazer uma operação simples de *setup*, ou qualquer outra razão já apontada. O motivo principal são os tempos de ciclo muito curtos de operações que constituem o Torneamento, à exceção dos desbastes, tal como se pode verificar no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento. Isto faz com que o operador tenha de estar sempre dedicado às máquinas, e qualquer outra operação que não seja dedicada à máquina fará muito provavelmente com que esta fique parada, nem que seja no regresso do operador à máquina, para a voltar a pôr a maquinar, após se ter deslocado a algum lado.

4.6.5 Estratégia de maquinação

Para a definição do TC médio de ferramentas da família E991, foi necessário aceder e verificar vários programas já realizados deste tipo, os quais contêm os tempos de maquinação afetos a cada uma das operações (desbastes, acabamentos, furos e escareações).

Nessa análise, feita programa a programa, foi, ainda, detetado outro problema para além dos anteriormente identificados: a estratégia de maquinação.

O que se detetou foi que a estratégia de maquinação é a comum: 1) desbaste à face; 2) acabamento à face; 3) desbaste ao diâmetro; 4) acabamento ao diâmetro. Contudo, para ferramentas cujo diâmetro

em bruto é grande, e o diâmetro que se pretende na zona final da ferramenta é muito inferior, esta não é eficiente.

Isto, porque, tal como demonstra a Figura 37, o desbaste à face é feito primeiramente, com a peça em bruto, retirando o excesso de comprimento a toda a ferramenta.

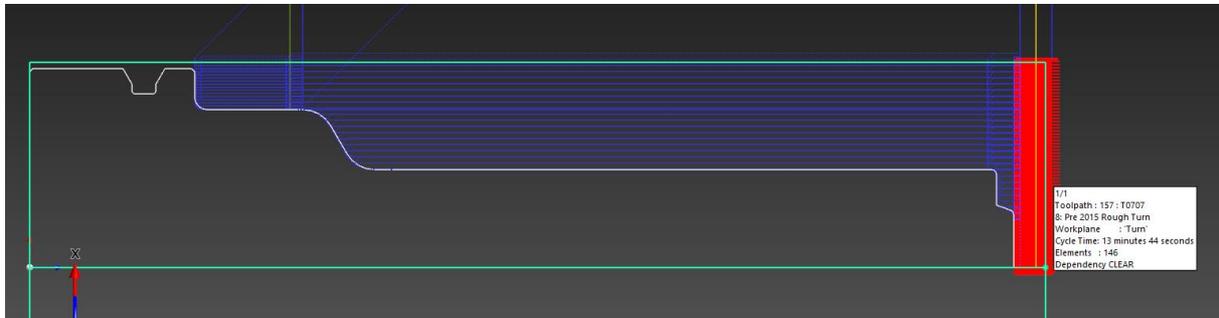


Figura 37. Parte de desbaste à face, num programa de Torneamento, com estratégia de maquinação utilizada, no início do projeto.

Depois, é feito o acabamento à face, e posteriormente o desbaste ao diâmetro, tal como demonstrado na Figura 38.

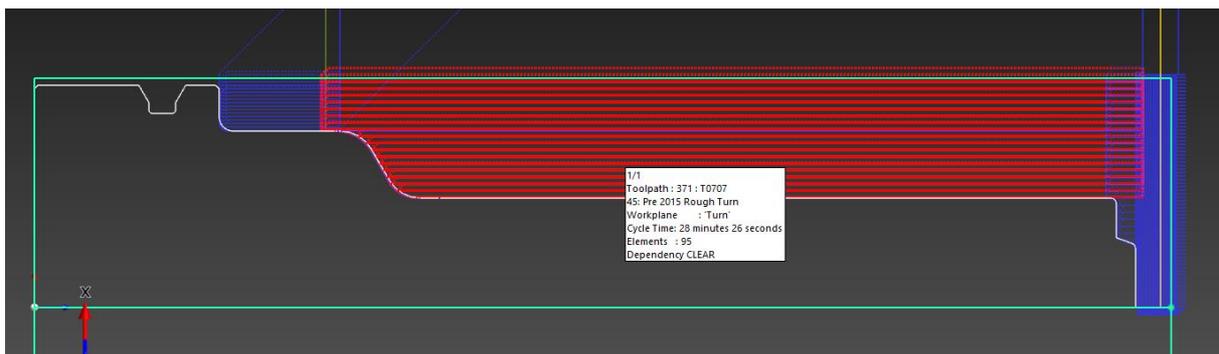


Figura 38. Parte de desbaste ao diâmetro, no Torneamento, com estratégia de maquinação utilizada, no início do projeto.

De uma forma simplista, a estratégia de maquinação é a demonstrada na Figura 39.



Figura 39. Esboço de estratégia de maquinação, no início do projeto.

Analisando bem, com esta estratégia de maquinação, maquina-se demasiado tempo a face das ferramentas. Na Figura 40, é demonstrado o que aconteceria caso se comesse pelas operações ao diâmetro, e só depois à face.



Figura 40. Esboço de estratégia de maquinação mais eficiente do que a utilizada no início do projeto.

É notável o tempo que se ganharia nas operações à face, sendo que as operações ao diâmetro pouco tempo aumentariam, com esta estratégia de maquinação. Outro aspeto importante é que, para ferramentas com diâmetros finais pouco inferiores ao diâmetro em bruto, esta estratégia não é eficiente, ou então é indiferente comparativamente à normalmente utilizada.

4.6.6 Problema de Furação

Para além destes problemas apontados, e mais associados ao Torneamento, existe outro desperdício que, como os operadores do Torneamento estão também responsáveis pela operação de Furação, leva as máquinas a estarem paradas. Este relaciona-se com a deslocação dos operadores de Torneamento ao computador para retirarem a cota “comprimento” do furo central no cone das ferramentas mais compridas. Isto acontece, porque os desenhos estão à escala, e os operadores definem o tamanho da broca, colocando-a sobre o furo do desenho das ferramentas, tal como demonstra a Figura 41.

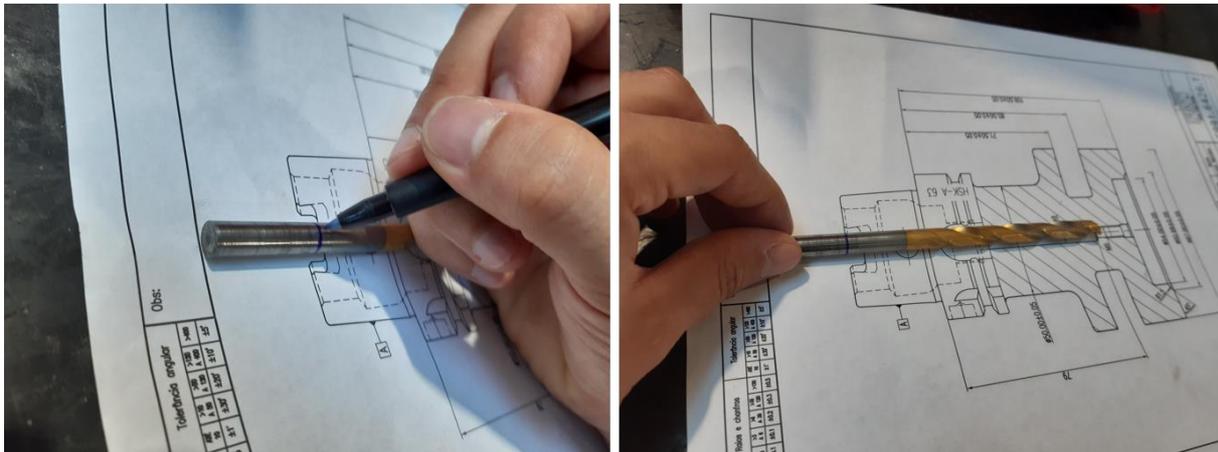


Figura 41. Marcação do tamanho da broca para furação.

Contudo, em ferramentas mais compridas, os desenhos, à escala, têm de sofrer um corte, para serem impressos, tal como demonstra a Figura 42.

Assim, os operadores não conseguem marcar a broca com o comprimento de furação necessário, tendo de deslocar-se ao computador para obter esse comprimento, no desenho total da ferramenta, antes de sofrer um corte.

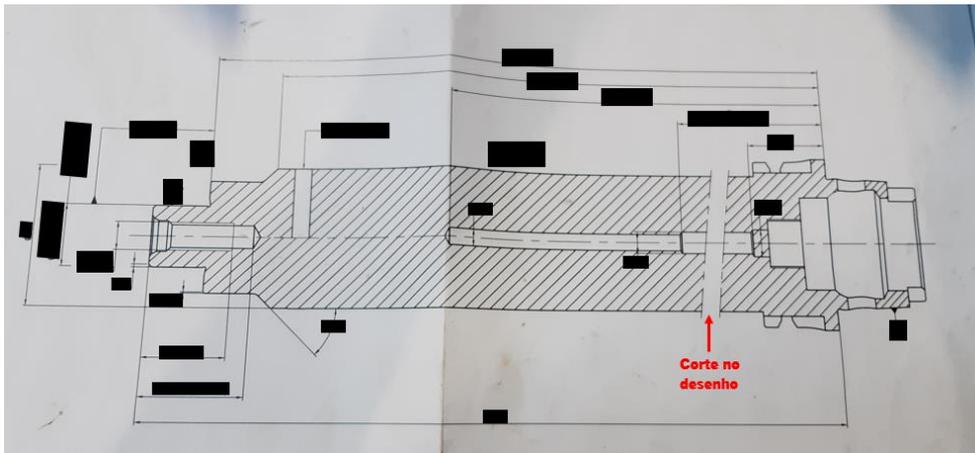


Figura 42. Corte no desenho de ferramenta comprida.

4.7 Análise aos problemas da Fresagem de construção soldada

Também para o FRES50 foram identificados vários problemas, que baixavam a sua produtividade, de forma a tentar-se atuar neles.

4.7.1 Problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem

Para abordar a Fresagem, o processo foi idêntico ao Torneamento, ou seja, teve com base a observação diária dos problemas que levavam às paragens de máquinas e, depois, o agrupamento desses consoante fossem de mão-de-obra, método, material, medida, máquina ou meio ambiente, tal como expresso na Figura 43.

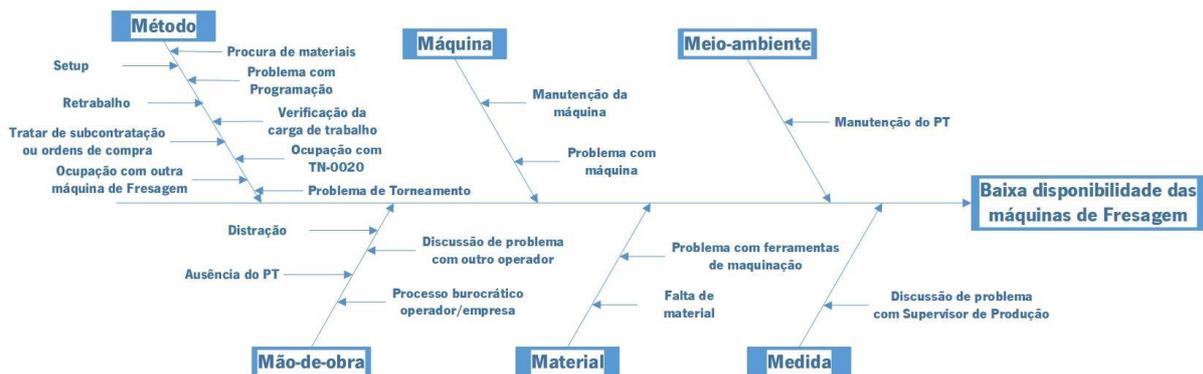


Figura 43. Diagrama de Ishikawa relativo à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem.

Em relação ao método, a baixa disponibilidade das máquinas é originada por:

- Procura de materiais;
- Tempo de *setup* elevado;

- Problemas com Programação, que podem ser máquinas paradas por estarem sem programa, várias correções no programa à medida que a ferramenta vai sendo fresada, deslocamentos dos operadores de Fresagem, ao Departamento de Programação, para avisar da necessidade de alterar programa ou fazer outra parte que este ainda não contenha, mas que é necessária, etc;
- Retrabalho;
- Verificação da carga de trabalho, à semelhança do que acontece no Torneamento;
- Tratar de subcontratação ou ordens de compra. Esta causa é mais relativa ao capitão de equipa, uma vez que este também é responsável por controlar máquinas, e algumas vezes estas estão paradas por ele necessitar de falar com a Logística a respeito da necessidade de subcontratar algum processo do centro, ou então sobre a necessidade de comprar algum material, etc;
- Ocupação com TN-0020. Em períodos mais apertados de trabalho no Torneamento, os operadores da Fresagem podem ter de tratar da Furação. Isto acontece essencialmente quando eles preveem ficar sem trabalho nas suas máquinas, sendo o Torneamento o *bottleneck*;
- Ocupação com outra máquina de Fresagem. Como os operadores muitas vezes são responsáveis por duas máquinas, ou até mais, estas podem estar paradas por eles estarem ocupados com outras;
- Problemas de Torneamento, ou seja, ferramentas que vêm com imperfeições do Torneamento, e é necessário corrigir essas imperfeições na Fresagem. Um exemplo destas imperfeições são os cones das ferramentas, que muitas vezes vêm marcados, e é necessário poli-los na TN-0020.

Quanto à mão de obra, esta também tem influência na paragem de máquinas, com os fatores:

- Distração, que, tal como no Torneamento, se refere essencialmente a conversa com outros operadores sobre assuntos alheios à empresa;
- Discussão de problema com outros operadores, e, neste caso, é sobre o trabalho do centro. Poderá ser pedir ajuda para determinado processo, fornecer ajuda, ou então explicar um erro com a ferramenta executada, mas que tenha passado pelo operador com quem se discute o problema;
- Ausência do PT, para atividades que não têm a ver com o trabalho no posto.

- Processo burocrático operador/empresa, que pode ser, por exemplo, ir falar com os Recursos Humanos da empresa sobre algum assunto.

Em relação às máquinas, destacam-se os problemas:

- Manutenção da máquina, quer seja esta realizada pelos operadores de manutenção internos à empresa, após surgirem problemas, ou num processo de manutenção preventiva, se esta é realizada pelo próprio operador responsável pela máquina, em processos como aumentar o nível do óleo ou da água.
- Problema com máquina, e, neste caso, são maioritariamente avarias.

Quanto ao material, a disponibilidade também é afetada pelos mesmos motivos que o Torneamento:

- Falta de material necessário;
- Problemas com ferramentas de maquinação.

Como causa associada ao meio-ambiente, destaca-se:

- Manutenção do PT.

Por último, em relação ao parâmetro “Medida”, observa-se:

- Discussão de problema com Supervisor de Produção, sendo que esta discussão está mais associada ao capitão de equipa, e é sobretudo sobre o desempenho do PT.

4.7.2 Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, na Fresagem de CS

Tal como no Torneamento, o processo seguido para verificar que causas levavam a uma maior paragem das máquinas de Fresagem de construção soldada foi também o de observar 2 turnos, cada operador e cada máquina. E, com base nessa análise, fez-se uma análise ABC para verificar as causas que geravam 80% do tempo de paragem das máquinas, tal como demonstra a Figura 44. Esta análise tem os seus dados suportados pela Tabela 44, presente no Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas.

Nesta análise ABC, pode verificar-se que os três principais problemas são: *setup* – 52.22%; problema com Programação – 17.90%; e ocupação com outra máquina CNC – 9.53%.

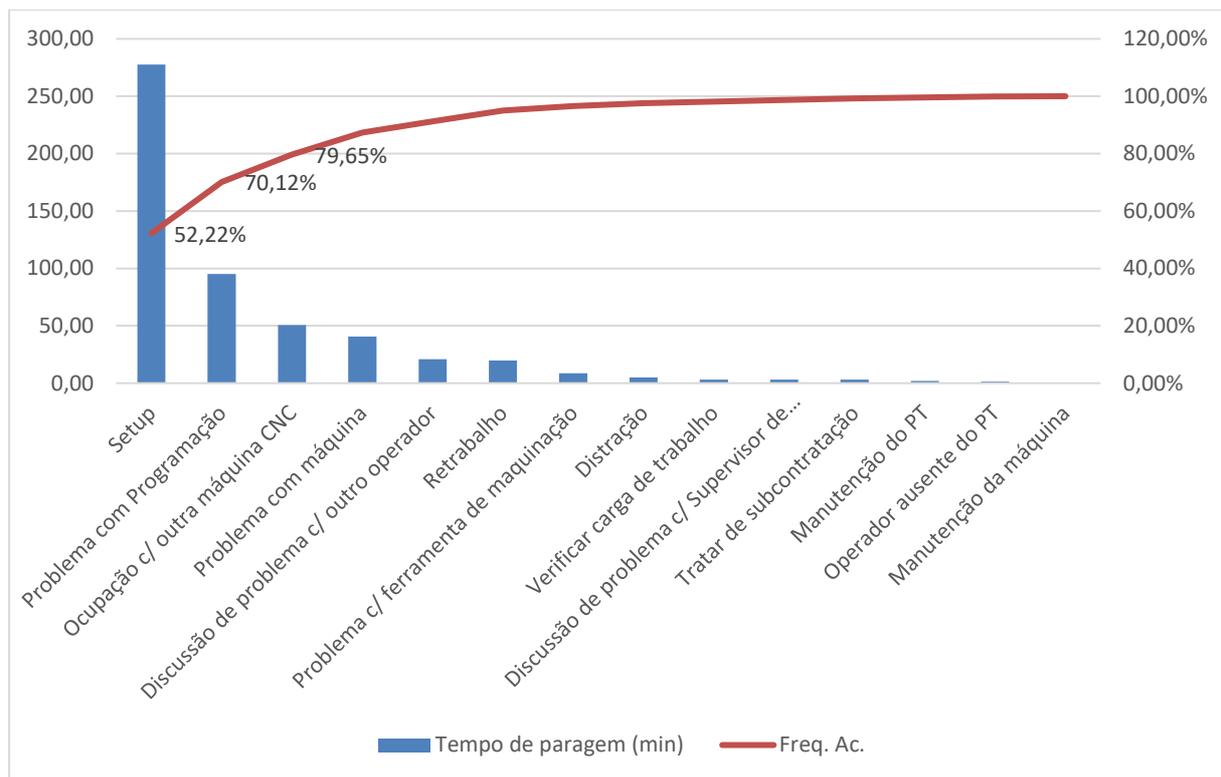


Figura 44. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de construção soldada.

Ainda que a análise ABC anterior seja relativa a todas as máquinas de Fresagem de construção soldada, existe uma delas que é importante destacar, pois tem um problema, dentro dos que originam 80% de paragem de máquina, que é excepcional.

Na análise da CM-0006, verificou-se que problemas com essa máquina, ou seja, avarias, representavam 14.73% das causas de paragem, levando-a a ser a segunda maior causa de paragem desta máquina, tal como demonstrado na Figura 45.

O tamanho deste problema não era desconhecido por parte da empresa. Na verdade, esta máquina, no início deste projeto, estava já indicada para ser substituída por outra, algo que requereria uma redefinição do *layout* do CM, a qual será abordada no Capítulo 4.9.

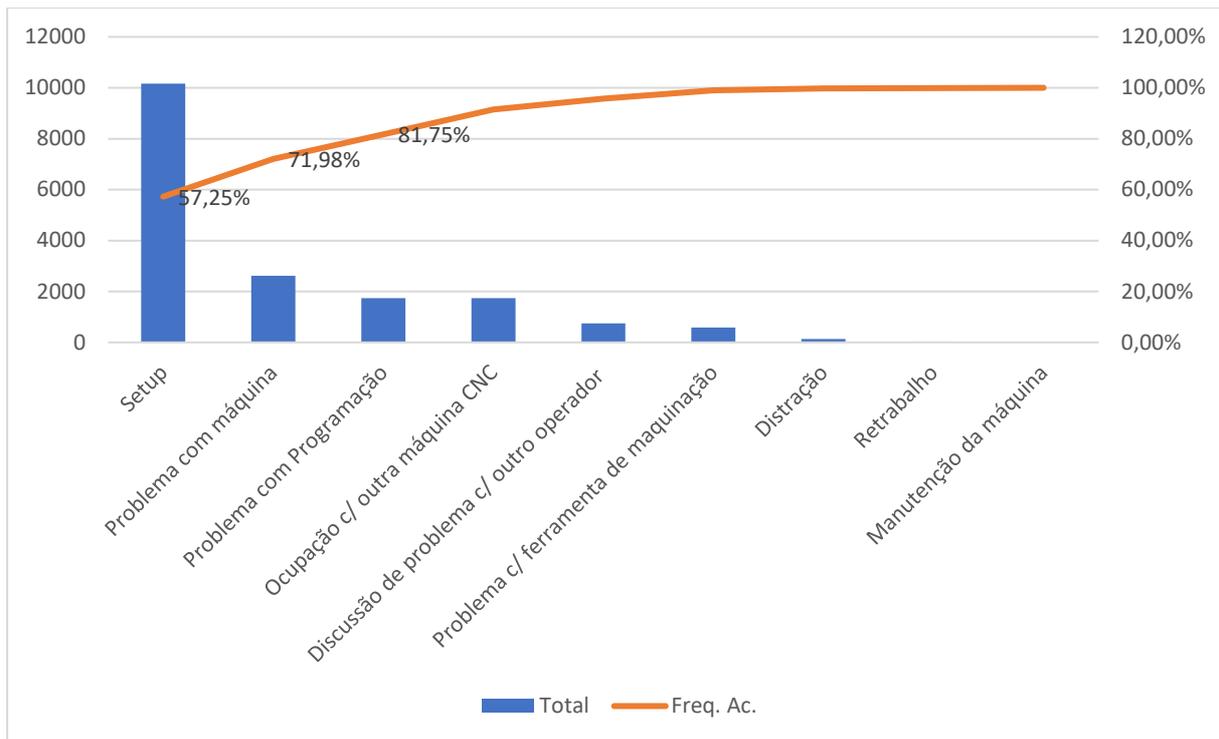


Figura 45. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade da máquina CM-0006.

4.7.3 Distribuição do tempo de *setup* que afeta a disponibilidade, na Fresagem de CS

À semelhança do que foi feito com o Torneamento, o *setup*, que se apresenta como o maior problema para a disponibilidade das máquinas de Fresagem de construção soldada, também foi decomposto, para melhor se entender as suas etapas mais prejudiciais à disponibilidade média das máquinas do centro. Essa análise está expressa na Figura 46.

Novamente, tal como acontece no Torneamento, a troca de ferramenta, quer seja dentro da mesma OF, ou então de uma nova OF, o que envolve a troca de aperto da máquina, são as principais etapas que baixam a disponibilidade das máquinas. Ainda surge uma terceira etapa que também é bastante significativa para a disponibilidade, que é a correção do programa vindo da Programação, com a alteração de variáveis como a velocidade de avanço ou a posição das ferramentas.

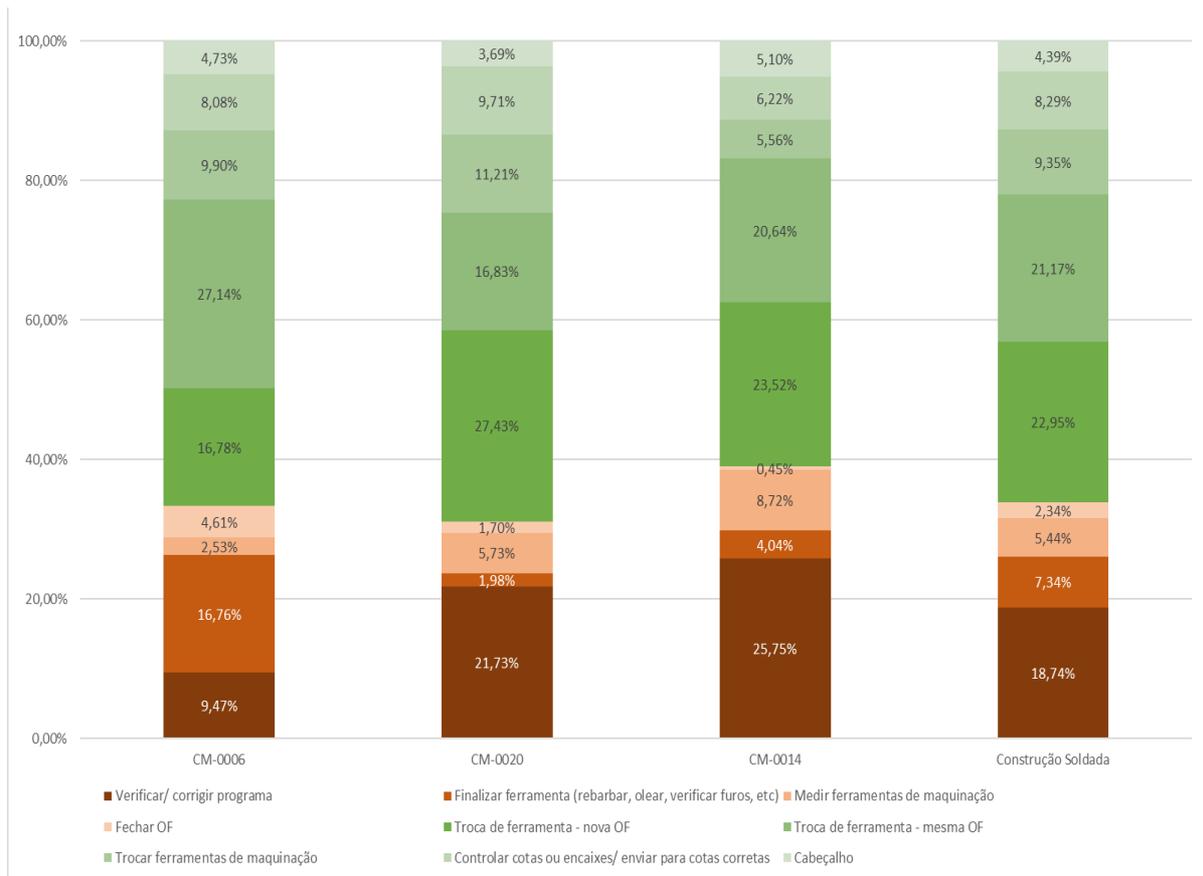


Figura 46. Distribuição do setup, que origina paragens das máquinas de Fresagem de construção soldada.

4.7.4 Causas-raiz dos problemas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de CS

À semelhança do Torneamento, para a Fresagem de construção soldada e seus problemas principais, também foram aplicados os “5 Porquês” para obter as respectivas causas-raiz, tal como demonstrado na Tabela 6.

De forma geral, o *setup* elevado deve-se aos muitos desperdícios nele presentes, mais uma vez essencialmente analisados no GAP realizado; e os problemas com o Dpt de Programação dividem-se em três: falta de partes do programa, programa errado, e ausência de todo o programa, quando este é necessário nas máquinas. Estes três últimos problemas apresentam como causas-raiz a falta de conhecimento sobre os processos de fresagem, dos operadores da Programação; a inexistência de uma base de dados, que reúna os dados das ferramentas de maquinação presentes nas máquinas, e o método pouco automatizado para criar programas, que leva a que esta criação seja muito demorada.

Tabela 6. "5 Porquês" para os problemas que resultam na baixa disponibilidade da Fresagem.

Problema	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
1) <i>Setup</i> elevado.	Vários desperdícios no <i>setup</i> das operações.				
2) Problemas com Programação.	Faltam partes da programação da ferramenta no programa.	Operadores da Programação enviam programas errados para a máquina.	Operadores da Programação não sabem que esses programas estão incompletos.	Operadores da Programação não têm conhecimento suficiente sobre a forma como as máquinas CNC de Fresagem operam.	
	Programa está errado.	Ferramentas de maquinação presentes no programa são incompatíveis com formato da ferramenta.	Operadores da Programação não têm conhecimento suficiente sobre a forma como as máquinas CNC de Fresagem operam.		
			Operadores da Programação não sabem que ferramentas estarão nas máquinas, e com que características.	Não existe base de dados com ferramentas <i>standard</i> nas máquinas.	
	Sem programa.	Programação não acompanha ritmo de trabalho da Fresagem.	Programação perde tempo a corrigir e alterar programas, após os ter enviado a primeira vez para a máquina respetiva.	Programas vão errados para as máquinas.	Operadores da Programação não têm conhecimento suficiente sobre a forma como as máquinas CNC de Fresagem operam.
			Tempo para fazer um programa muito elevado.	Método seguido para fazer um programa pouco eficaz.	Método para fazer programas pouco automatizado.

4.7.5 Tempo de maquinação após término do turno, nas máquinas de Fresagem de CS

Para além da disponibilidade das máquinas de Fresagem, existe outro parâmetro que deve ser alvo de análise: o tempo de maquinação após término do turno. Este tempo relaciona-se com as ferramentas que, após serem controladas e “acertadas” na primeira vez de uma dada OF, são deixadas, na máquina, a maquinar após o fim de turno.

Para verificar a média diária deste tempo, para cada máquina, foram recolhidos dados referentes a 30 dias, expressos no Apêndice VII – Registo de tempos de maquinação após término do turno. Com estes dados, chegou-se a um tempo médio diário de maquinação após término de turno (TMATT) de 34.13

minutos para a Fresagem de CS, distribuída da seguinte forma: 25.91 minutos na CM-0006, 28.56 minutos na CM-0014 e 47.93 minutos na CM-0020.

Estes tempos são relativamente baixos, uma vez que, por exemplo, uma ferramenta da família E991 demora, em média, 1 hora e 17 minutos a ser fresada, havendo ferramentas a passarem das 4 horas de tempo de maquinação. Ou seja, assumindo que uma dessas ferramentas é colocada, perto do fim de turno, na máquina, o tempo de maquinação após término do turno, nessa máquina, nesse dia, seria cerca de 4 horas, o que é um valor muito superior à média diária de 34.13 minutos.

4.8 Análise aos problemas da Fresagem de aperto mecânico

Em relação à Fresagem de aperto mecânico, tal como verificado no Apêndice II – Disponibilidade das máquinas de Torneamento e Fresagem, a máquina afeta a esta operação tem uma disponibilidade também muito baixa – 39.86%. Porém, para este centro não foi realizada uma análise tão profunda, por este não ser tão requisitado quanto a Fresagem de construção soldada, e, por isso, não se desenvolveu um diagrama de análise de processo.

De uma forma geral, e comparativamente à Fresagem de construção soldada, este tipo de fresagem apresenta muitos mais controlos de cotas, pois são muitos mais os elementos que constituem este tipo de ferramenta, como se pode verificar com o exemplo da Figura 47, e também porque estas ferramentas serão de maior precisão do que as produzidas na construção soldada. Além disso, também são necessárias mais ferramentas de maquinação para elaborar ferramentas deste tipo, devido à sua complexidade e número de elementos.



Figura 47. Exemplo de ferramenta produzida na Fresagem de aperto mecânico, e elementos controlados.

4.8.1 Análise ABC às causas da baixa disponibilidade das máquinas, na Fresagem de APM

Neste tipo de fresagem, as causas principais para a baixa disponibilidade, tal como indica a Figura 48, proveniente da análise da Tabela 45, do Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas, são semelhantes às de CS, mas com maior incidência, isto é, o tempo de *setup* leva a maiores paragens que a CS e também se apresentam muitos mais problemas com a Programação, devido essencialmente à complexidade das ferramentas, e aos operadores da Programação não estarem também integrados com a forma de maquinação deste tipo de ferramentas, na máquina CNC. Além disso, surge um outro problema, que é o retrabalho, mas este está também muito relacionado com a Programação, pois o que o originou foram causas como voltar a chamar programas, após corrigidos pela Programação, sendo que, nesta máquina, os programas demoram um pouco mais de tempo a serem descarregados, pois não tem ligação direta à rede, ou seja, não ficam automaticamente na máquina após enviados pela Programação.

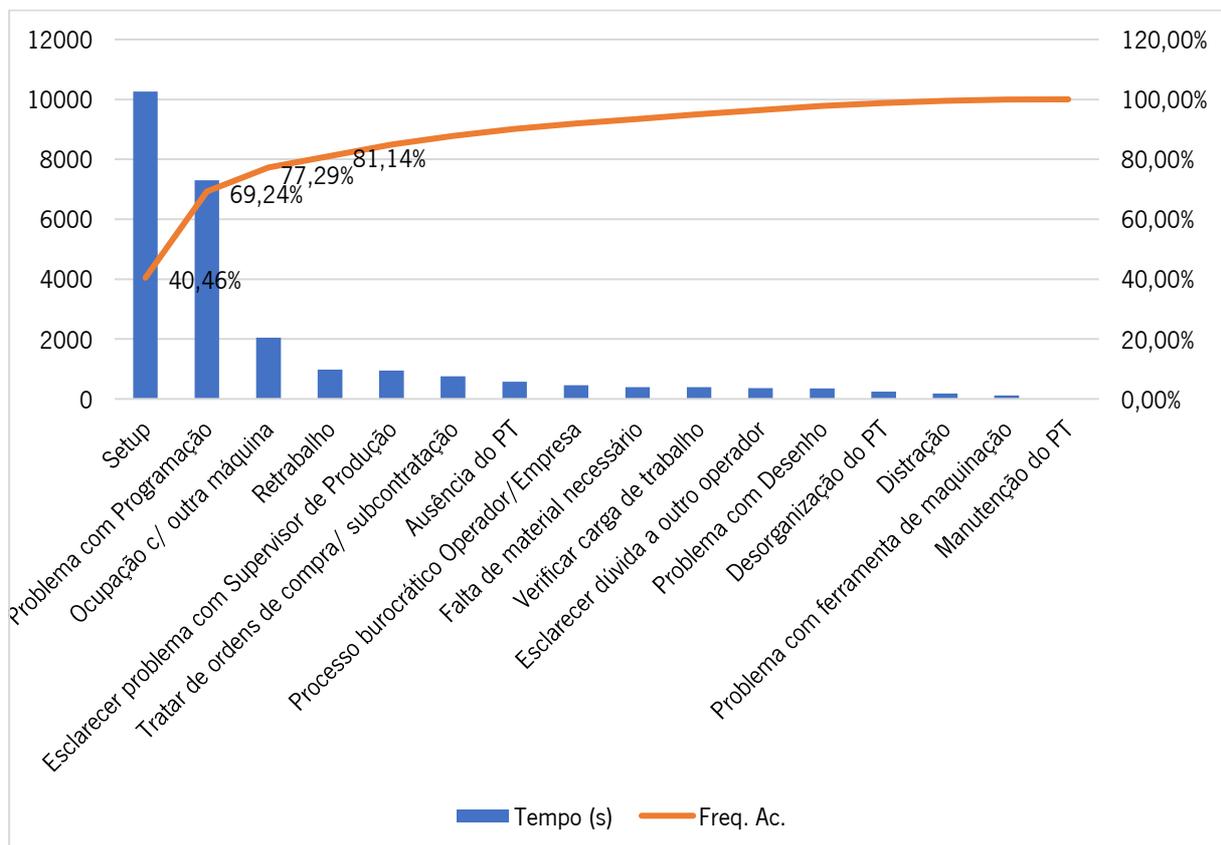


Figura 48. Análise ABC das causas que levam à baixa disponibilidade das máquinas de Fresagem de aperto mecânico.

4.8.2 Distribuição do tempo de *setup* que afeta a disponibilidade, na Fresagem de APM

No que diz respeito à divisão do *setup*, que resulta em paragens de máquina, pelos motivos já explicados, as principais etapas deste são a troca de ferramentas de maquinação na máquina – 16.61%; a correção do programa – 12.96%; e o controlo de cotas – 11.08%. Esta distribuição pode ser vista na Figura 49.

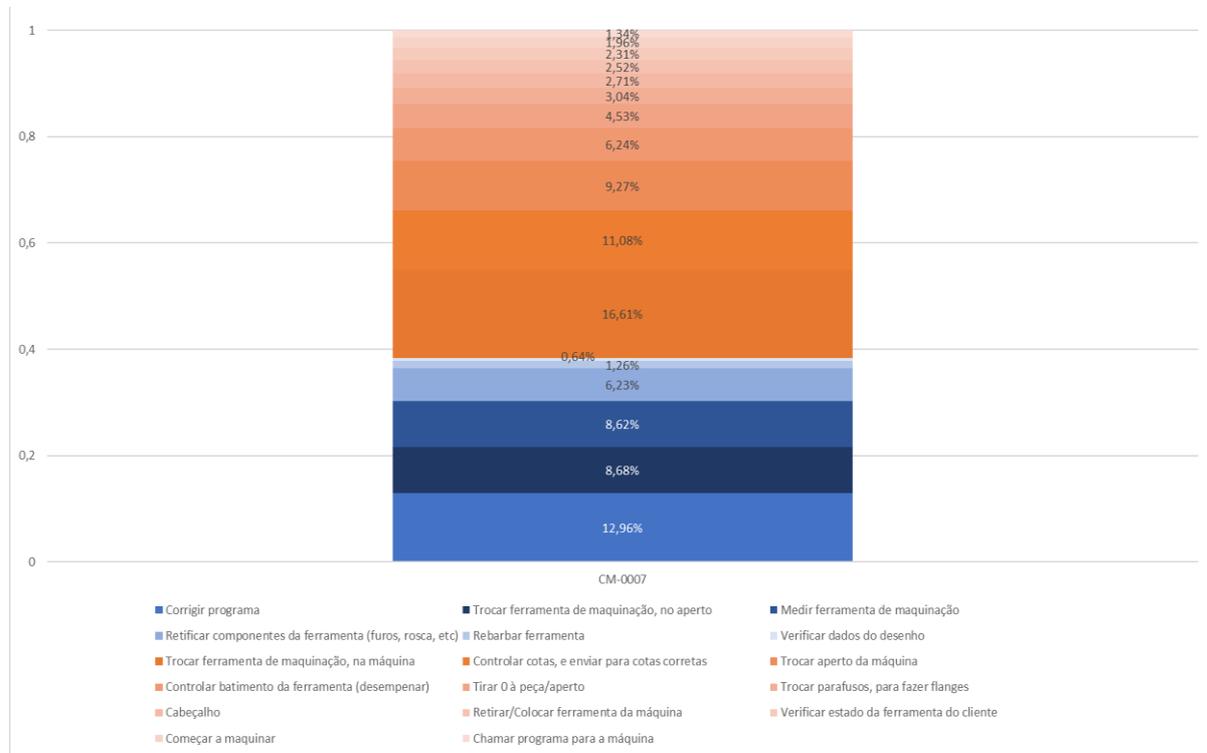


Figura 49. Distribuição do *setup*, que origina paragens das máquinas de Fresagem de aperto mecânico.

4.8.3 Tempo de maquinação após término do turno, nas máquinas de Fresagem de APM

Tal como na Fresagem de CS, também foi explorado o tempo de maquinação após término do turno, na Fresagem de APM ao longo de 30 dias - expresso no Apêndice VII – Registo de tempos de maquinação após término do turno, tendo-se obtido um valor médio deste tempo, na CM-0007, de 22.90 minutos.

4.9 Análise às movimentações dos operadores do Centro de Maquinagem

Como já revelado, um dos objetivos deste projeto também passa pela reestruturação do *layout* do CM. A necessidade desta mudança surge com a aquisição de uma nova máquina, por parte da empresa, para realizar ferramentas de aperto mecânico. Esta chega, pois, tal como já apresentado, a CM-0006 está com problemas de maquinação, e com constantes avarias, sendo o custo de reparação demasiado elevado. Desta forma, após a chegada da nova máquina de APM, a atual máquina responsável por esse processo – CM-0007 –, passará a ser utilizada para Fresagem de construção soldada.

Posto isto, e também com vista a melhorar a produtividade do centro, foi realizado um diagrama de *Spaghetti*, presente no Apêndice VIII – Diagrama de *Spaghetti* do CM, com todas as deslocações necessárias a cada operador, e motivos para essas deslocações.

De notar que, no diagrama de *Spaghetti* realizado, alguns elementos foram retirados, como por exemplo as cargas de cada máquina, de forma a tornar mais fácil a representação das movimentações.

Desta análise, foi possível extrair os seguintes problemas:

- Retificadora plana - “plana” - utilizada apenas por operador da CM-0014 e operador da Soldadura, que não está representado, e longe destes;
- Operadores da Fresagem com longos percursos para picarem caixas, no “PC”;
- Longos percursos dos operadores da Fresagem para realizarem operações na TN-0020;
- Operadores de Fresagem de CS (CM-0006, CM-0020 e CM-0014) com longos percursos para irem medir ferramentas, irem buscar ferramentas ao armário automático – “Armazém de ferramentas” -, ou irem à mesa de *Shrink*;
- Máquina de equilibragem – “Maq. EQ.” – não utilizada;
- “Armário 4” pouco utilizado;
- “Mesa 3” unicamente utilizada por operador da CM-0014, e longe deste;
- Deslocação relativamente longa do operador da CM-0014 para finalizar ferramentas à “Mesa 1” ou “Mesa 4”, consoante ocupação destas;
- CM-0016 não utilizada;
- “Armário 1” e “Armário 2” colocados numa posição central, obstruindo movimentações diretas entre máquinas de Fresagem, caso um operador tenha de controlar alguma das máquinas mais à esquerda (CM-0007 e CM-0014) e, ao mesmo tempo, alguma das máquinas mais à direita (CM-0020 e CM-0006). A juntar a isso, estes armários são altos, cortando a visão entre estas máquinas, caso um operador esteja a controlar máquinas de ambos os lados, podendo não se aperceber de que uma máquina parou de maquinar;
- Longo percurso do operador do Torneamento para utilizar utensílio para troca de ferramenta na “Mesa 2”.

De notar que, para além das deslocações apontadas, existem ainda outras, relativamente frequentes, que excedem a área do CM. Estas são as idas dos operadores de Fresagem ao Departamento da Programação, para reclamar algum problema a nível de programação; e a ida à Soldadura, para levar a caixa com a OF realizada, após a ter picado no computador. O tamanho dessas deslocações, apesar de não estar representado, pode ser analisado na Figura 15.

5. PLANO DE AÇÕES

Com base em todos os problemas encontrados na fase de diagnóstico para o CM, foram realizados planos de ações para todos os centros que o constituem.

Antes de estes serem demonstrados, é importante referir que não foi elaborado o VSM de estado futuro, uma vez que não será alterada a sequência do fluxo de valor, mas apenas serão aplicadas melhorias que reduzam o TS e o WIP, e aumentem a disponibilidade. Ou seja, no VSM de estado futuro, apenas diferiria o valor do TS, do WIP e da disponibilidade em cada centro, relativamente ao do estado inicial.

5.1 Plano de ações de melhoria do Torneamento

Começou-se, então, por definir um plano de ações para o Torneamento, de forma a diminuir os problemas que afetam a produtividade deste centro.

5.1.1 Análise ICE aos problemas menores do Torneamento

Para além dos problemas que resultam em 80% das paragens de máquinas, foi importante verificar, dentro dos problemas restantes, aqueles que seriam passíveis de melhorar, com maior impacto, maior confiança nos resultados esperados e maior facilidade, ou seja, os que tivessem maior pontuação ICE, tal como demonstra a Tabela 7.

Uma nota importante é que, para a obtenção do fator “impacto”, foi tida em conta a Tabela 43, do Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas. Assim, as percentagens pertencentes a cada problema que resulta em paragens descrevem o “impacto” que as melhorias teriam em termos de paragem de máquinas. Esse impacto é calculado com a multiplicação da percentagem que cada problema apresentou, para paragem de máquinas, pelo tempo total percentual de paragem de máquinas, ou seja, a “não disponibilidade” – 48.08%. Os restantes fatores foram avaliados dentro de uma gama de valores de 0 a 10, consoante aquilo que eles indicam, que já foi definido no Capítulo 2.4.5, sendo 0 o valor mínimo a atribuir, caso não se tenha nenhuma confiança ou facilidade na implementação daquela ação, e 10 caso se tenha plena confiança ou então total facilidade na implementação daquela ação.

Outro aspeto que se teve em consideração foi o facto de que as melhorias “significativas” seriam as que apresentassem um índice ICE superior a 25.

Assim, verificou-se que o problema de verificar a carga de trabalho, corrigido com a colocação mais visível da carga de trabalho, a desorganização do PT e o problema com o Dpt de Desenho são os três

problemas em que mais facilmente se atua, trazendo ganhos significativos, uma vez que têm a pontuação ICE maior: 27, 52,08 e 28, respectivamente.

Tabela 7. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores do Torneamento, que resultam em paragens de máquinas.

Problema	Solução	Impacto (I)	Confiança (C)	Esforço (E)	Pontuação ICE
Sem material de maquinação	Verificar dados de stock, e duplicar artigos necessários às duas máquinas.	2,24	5	2	22,4
Retrabalho	Analisar as causas de retrabalho (erro do operador, erro de processo anterior, problema da máquina, etc), e atuar sobre elas.	2,22	4	2	17,76
Problema com ferramenta de maquinação	Diminuir velocidade de avanço da ferramenta; testar várias ferramentas diferentes, e escolher a melhor; mudar materiais das ferramentas, para menos resistentes.	1,81	5	1	9,05
Verificar carga de trabalho	Colocar carga de trabalho mais visível e com maior facilidade de acesso.	0,6	5	9	27
	Libertar CE da responsabilidade de controlar máquinas de Fresagem.	0,65	9	2	11,7
Desorganização do PT	Organizar gavetas das brocas e das pinças.	1,24	6	7	52,08
Discussão de problema com outro operador	Verificar razões para discussão de problemas, e dar formação aos operadores para evitar tais problemas.	0,59	4	2	4,72
Problema com Desenho	Reunir cotas necessárias, e indicar ao Dpt. Desenho.	0,5	7	8	28
Esclarecer dúvida com CE	Verificar razões para dúvidas, e dar formação aos operadores.	0,49	4	2	3,92
Problema de Serragem	Alterar forma de Serragem.	0,34	8	1	2,72

Quanto aos problemas com o Desenho, estes relacionam-se com a falta de cotas, na folha impressa do desenho de Torneamento, presente na caixa da OF, cotas essas necessárias para os operadores de Torneamento controlarem a ferramenta, e que, devido a essa ausência, provocam a deslocação dos operadores ao computador para, após abrirem o desenho em *Autocad LT*, retirarem as cotas que faltam na folha impressa do desenho.

Em relação à procura de materiais, estes são essencialmente de dois tipos: brocas e pinças. Isto porque as gavetas destes materiais não estão devidamente organizadas nem identificadas, por tamanhos, tal como demonstrado na Figura 50. Com isto, os operadores tentam, iterativamente, procurar as brocas e pinças necessárias para furarem as ferramentas, sendo este tipo de material requisitado quer pelas máquinas CNC, quer pela TN-0020.



Figura 50. Gavetas das brocas e das pinças, no início do projeto.

Quanto à verificação da carga de trabalho, esta ocorre essencialmente no “Tapete TN” (ver Figura 19. *Layout* do CM, no início do projeto.), onde são colocadas as caixas vindas da Serragem, e que entrarão no posto de trabalho do Torneamento. Os operadores deslocam-se a essa zona, e verificam a próxima carga a entrar no PT, levando as caixas para a carga das máquinas, se o CE não o fez antes. Porém, as caixas são colocadas no “Tapete TN” lado a lado, tapando o seu número, tal como ilustra a Figura 51. Por essa razão, o operador do Torneamento tem de deslocar as caixas para conseguir ver os seus números, enquanto procura as que são necessárias irem para a zona da carga.



Figura 51. Forma de colocação das caixas no “Tapete TN”, no início do projeto.

5.1.2 5W2H para os problemas principais do Torneamento

Relativamente ao Torneamento, e aos problemas nele apontados – Capítulo 4.6.4, o plano de ações definido está presente na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8. Plano de ações para o Torneamento, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Aplicar SMED.	Vários desperdícios no <i>setup</i> das operações.	PT Torneamento.	-	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção.	1) Separação de operações de <i>setup</i> em operações internas e externas. 2) Conversão de operações internas em operações externas. 3) Racionalização de operações internas e operações externas.	-
Criar procedimento para escolher máquina a atuar, quando ambas estão paradas.	Não existe um procedimento que define o critério para escolher a máquina a atuar, quando ambas estão paradas.	PT Torneamento.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Verificar tempos de operações que levam a paragens de máquinas. Priorizar tempos de operações que levam a paragens de máquinas menores. Criar tabela com prioridade de atuação, consoante operação, quando ambas as máquinas estão paradas.	-
Definir mecanismo de limpeza mais eficiente para limpar apertos das máquinas – cone fêmea de limpeza.	Processo de limpar cones com risco de ser mal-executado, por ser feito com pistola de ar.	Máquinas de Torneamento.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Ver soluções no mercado para limpeza do interior de apertos HSK, e implementar.	23.72€
Substituir tapete de extração da TN-0015.	Tapete de extração da TN-0015 avariado.	Máquina TN-0015.	Indefinido.	Supervisor de Produção + Diretor de Operações.	Verificar preços e características de tapetes para máquinas CNC de Torneamento, e comprar melhor opção.	?
Indicar, ao Dpt. de Desenho, cotas necessárias para cada desenho.	Operadores de Torneamento com necessidade de se deslocarem ao computador para retirarem cotas do desenho.	Dpt. de Desenho.	Julho de 2022.	Operadores de Torneamento + CE do CM + Duarte Oliveira	1) Reunir vários desenhos de vários tipos de ferramentas, e assinalar cotas necessárias em cada uma dessas ferramentas. 2) Criar LS.	-
Organizar gavetas das brocas e das pinças.	Pinças e brocas desorganizadas e não identificadas nas respetivas gavetas.	Armário TN-0020.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Organizar pinças e brocas por tamanhos, e identificar cada uma delas, com o seu tamanho.	-

Tabela 9. Plano de ações para o Torneamento, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Organizar "tapete" do Torneamento, de forma eficiente.	Dificuldade em ver número das caixas no "tapete".	PT Torneamento.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Colocar as marcas do "tapete" das caixas "em espinha", de forma a ser possível verificar os respetivos números.	-
Definir procedimento para nova estratégia de maquinação.	Estratégia de maquinação atual, em ferramentas com diâmetro em bruto longo, e diâmetro final reduzido, pouco eficiente.	PT Torneamento.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Criar procedimento para nova estratégia de maquinação.	-
Colocar régua para medir brocas, e desenhos de Torneamento virem com indicação do comprimento do furo central, quando estão cortados.	Deslocação dos operadores de Torneamento ao computador para verificarem cota comprimento dos furos centrais nos cones.	Armário TN-0020 e Dpt. de Desenho.	Agosto de 2022.	Duarte Oliveira.	1. Colocar régua no Armário TN-0020. 2. Indicar ao Dpt. de Desenho que desenhos de ferramentas cortados devem vir com comprimento do furo central dos cones.	-
Furação passar a ser uma operação da responsabilidade dos operadores da Fresagem.	Operador responsável por ambos os processos: Torneamento e Furação.	PT Torneamento + PT Fresagem	Indefinido.	Operadores da Fresagem.	Definir procedimento para operadores da Fresagem atuarem no TN-0020.	-

5.1.3 Plano de implementação de SMED no Torneamento

Tendo em vista a redução do tempo de *setup* no Torneamento, e a aplicação da ferramenta SMED para a sua redução, foi analisado, de forma visceral, o Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento, onde se dividiram as operações que poderiam ser realizadas como externas das operações que são internas.

Depois, identificaram-se eventuais formas para o *setup* externo começar a ser realizado como tal, para converter o *setup* interno em externo, e para reduzir ambos os tipos, tal como demonstra a Tabela 10 e a Tabela 11.

É importante referir que esta ferramenta foi aplicada, não só para diminuir o tempo de troca ou preparação de ferramentas, na máquina, para a voltar a colocar a maquinasar, mas também o tempo de operações como fazer o programa, uma vez que operações deste género também são necessárias para as ferramentas continuarem o seu fluxo de trabalho.

Tabela 10. Plano SMED para o Torneamento (1ª parte).

Etapa do SMED	Melhoria "What?"	Motivo "Why?"	Local "Where?"	Prazo "When?"	Responsável "Who?"	Método "How?"	Custo "How much?"
1. Separação de atividades de <i>setup</i> em externas e internas.	Criar folha de preparação de trabalho.	Operadores não preparam trabalho, fazendo atividades que deveriam ser externas, com a máquina parada.	PT Torneamento.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Criar folha para colocar nas máquinas de TN, onde se indica tudo o que os operadores devem preparar para cada operação.	-
2. Converter atividades internas em atividades externas.	Corrigir-se programa no PC, sendo só descarregar na máquina.	Operadores chamam o programa para a máquina e corrigem aspetos, que já poderiam vir corrigidos do PC.	PC do CM.	Agosto de 2022.	Operadores de Torneamento.	Operadores comecem a alterar programa após gerado, logo no PC.	-
	Trocar <i>spindle</i> da máquina, de forma a troca de aperto ser mais rápida.	Troca de aperto morosa.	Máquinas de Torneamento.	Indefinido.	Supervisor de Produção + Diretor de Operações	Comprar <i>spindle</i> novo para uma das máquinas, com sistema de aperto ISO50.	≈20000 € (Novo <i>spindle</i>)
3. Racionalizar atividades internas e atividades externas.	Implementar macro para passagem automática do desenho de Torneamento para o desenho de perfil.	Operadores têm de retirar as cotas que vêm do Desenho e eliminar linhas do desenho, de forma a ficarem só com o perfil da ferramenta, necessário para a programação.	PC do CM.	Agosto de 2022.	Dpt. de informática da empresa.	1) Instalar <i>Autocad Pro</i> (versão atual sem capacidade para implementar macros). 2) Dpt. de Informática copiar macro já existente na Frezite Madeira.	1785 €/ano (<i>Autocad Pro</i>)
	Conceção e correção de macros para programação do Torneamento.	Macros do Torneamento desatualizadas ou inexistentes.	PC do CM.	Junho de 2022.	Operador de outro centro.	Automatizar partes da programação, através de macros.	-

Tabela 11. Plano SMED para o Torneamento (2ª parte).

Etapa do SMED	Melhoria "What?"	Motivo "Why?"	Local "Where?"	Prazo "When?"	Responsável "Who?"	Método "How?"	Custo "How much?"
3. Racionalizar atividades internas e atividades externas.	Colocar acessório de troca de ferramenta junto às máquina.	Várias ferramentas, de forma a ser possível acoplá-las no aperto da máquina, têm que ser montadas num sistema modular, que, por sua vez, tem a capacidade de acoplar na máquina. Para essa montagem, é necessário recorrer-se a um acessório único no CM, que se encontra na "Mesa 2". Por essa razão, sempre que existem ferramentas desse tipo, e se trocam na máquina, para a mesma OF, há uma deslocação recorrente a essa mesa.	PT Torneamento.	Setembro de 2022.	CE do CM.	Comprar suporte de sistemas modulares de ferramentas, e montá-lo no PT do Torneamento.	154€ (Acessório de troca)
	Utilizar mecanismo de limpeza mais eficiente para limpar apertos das máquinas – cone fêmea de limpeza.	Aperto limpo com pistola de ar, o que demora demasiado tempo.	PT Torneamento.	Julho de 2022.	Operadores de Torneamento.	Limpeza do aperto ser realizada com cone fêmea de limpeza, ao invés de pistola de ar.	23.72€ (Cone fêmea de limpeza)
	Organizar gavetas das brocas e das pinças.	Pinças e brocas desorganizadas e não identificadas nas respectivas gavetas.	Armário TN-0020.	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Organizar pinças e brocas por tamanhos, e identificar cada uma delas, com o seu tamanho.	-

5.2 Plano de ações de melhoria da Fresagem

Findado o plano de ações para o Torneamento, torna-se importante definir ações para o outro centro do CM, de forma que este não passe a ser um gargalo do sistema.

5.2.1 Análise ICE aos problemas menores da Fresagem

À semelhança do que foi realizado para o Torneamento, também para a Fresagem se investigaram os problemas menores, para atuar-se neles, com base no critério ICE, como ilustra a Tabela 12 e a Tabela 13. Nesta análise, os critérios assumidos foram os mesmos que no Torneamento, ou seja, o fator

“impacto” relaciona-se com a percentagem de paragem originada por cada problema, expressa na Tabela 44 e na Tabela 45, do Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas, e as causas “significativas” são as que apresentam um índice ICE superior a 25.

Tabela 12. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores da Fresagem de CS, que resultam em paragens de máquinas.

Problema	Solução	Impacto (I)	Confiança (C)	Esforço (E)	Pontuação ICE
Fresagem - Construção Soldada					
Retrabalho	Analisar as causas de retrabalho (erro do operador, erro de processo anterior, problema da máquina, problema de Programação, etc), e atuar sobre elas.	3,72	4	1	14,88
Problema com ferramenta de maquinação	Diminuir velocidade de avanço da ferramenta; testar várias ferramentas diferentes, e escolher a melhor; mudar materiais das ferramentas, para mais resistentes.	1,61	5	1	8,05
Verificar carga de trabalho	Libertar CE da responsabilidade de controlar máquinas.	0,60	9	2	31,14
Discussão de problema com Supervisor de Produção		0,57			
Tratar de subcontratação		0,56			
Discussão de problema com outro operador	Verificar razões para discussão de problemas, e dar formação aos operadores para evitar tais problemas.	3,94	4	1	15,76

Posto isto, o principal problema, ou seja, o problema com maior índice ICE – 31.14 no FRES50 e 180.9 no FRAM50 - relaciona-se com o facto do CE estar responsável pelo controlo de máquinas e, com isso, operações que são características deste tipo de cargo fazem com que as máquinas parem, como por exemplo, ter de tratar de ordens de compra ou subcontratações, ter de definir o trabalho por máquina, fazendo o planeamento, ou reunir os indicadores diários do centro, e comunicá-los ao Supervisor de Produção.

Isto acontece, pois, pouco depois do início do projeto, o operador responsável pela Fresagem de APM terminou o seu contrato, sendo que o único com conhecimento de Fresagem de APM no CM era o CE, que, ao longo de grande parte do período da dissertação, ficou responsável pelo FRAM50 e por dar formação ao operador afeto à CM-0014 para este passar a ser responsável pelo FRAM50.

Tabela 13. Análise, através do critério ICE, aos problemas menores da Fresagem de APM, que resultam em paragens de máquinas.

Problema	Solução	Impacto (I)	Confiança (C)	Esforço (E)	Pontuação ICE
Fresagem - Aperto Mecânico					
Falta de material necessário	Aumentar artigos presentes na empresa, ficando o CM com artigos exclusivos para uso próprio.	1,56	5	3	23,4
Esclarecer problema com Supervisor de Produção	Libertar CE da responsabilidade de controlar máquinas.	3,75	9	2	<u>180,9</u>
Verificar carga de trabalho		1,54			
Tratar de ordens de compra/ subcontratação		2,96			
Processo burocrático operador/ empresa		1,80			
Problema com Desenho	Reunir cotas necessárias, e indicar ao Dpt. Desenho.	1,39	6	9	<u>75,06</u>
Problema com ferramenta de maquinação	Diminuir velocidade de avanço da ferramenta; testar várias ferramentas diferentes, e escolher a melhor; mudar materiais das ferramentas, para mais resistentes.	0,46	5	1	2,3
Desorganização do PT	Definir pontos de melhoria de organização no plano 5S.	0,95	5	5	23,75

E apenas se encontrou outra melhoria com índice superior a 25, que foi o problema de Desenho, em especial na Fresagem de APM – pontuação ICE de 75.06. Isto acontece, também, pois algumas das cotas utilizadas pelos operadores de Torneamento são usadas pelos operadores da Fresagem, ou seja, faltando essas cotas para os operadores do TORN50, também podem faltar para a Fresagem.

5.2.2 5W2H para os problemas principais da Fresagem

Para a Fresagem, a abordagem utilizada foi, mais uma vez, a mesma que no Torneamento, chegando-se ao plano de ações presente na Tabela 14 e na Tabela 15, com base na ferramenta 5W2H.

Tabela 14. Plano de ações para a Fresagem, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Aplicar SMED.	Vários desperdícios no <i>setup</i> das operações.	PT Fresagem.	-	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção.	1) Separação de operações de <i>setup</i> em operações internas e externas. 2) Conversão de operações internas em operações externas. 3) Racionalização de operações internas e operações externas.	-
Formação dos operadores da Programação nas máquinas CNC.	Operadores da Programação não têm conhecimento suficiente sobre a forma como as máquinas CNC de Fresagem operam.	PT Fresagem.	Setembro de 2022.	Operadores da Programação.	Diariamente, durante 2 meses, operadores da Programação reservarem 1 hora para assistirem aos operadores da Fresagem a trabalharem nas CNC.	44 horas de cada operador de Programação. Total: 88 horas.
Criar macros para, de forma automática, se fazerem partes da programação.	Método para fazer-se programas pouco automatizado.	Dpt. de Programação	Dezembro de 2022.	Operadores da Programação + Responsável de informática da empresa.	Verificar-se como se trabalha na Frezite Madeira (programação mais automatizada), e alterar macros para ficarem de acordo com a programação da FMT.	-
Substituir CM-0006.	CM-0006 deteriorada.	PT Fresagem.	Agosto de 2022.	Supervisor de Produção + Diretor de Operações + Manutenção da Empresa.	Adquirir nova máquina, para ocupar o lugar da CM-0006.	<i>Confidencial.</i>
Contratar novo funcionário para substituir CE no controlo de máquinas CNC.	CE é responsável por vários processos de gestão do CM, e ainda tem de controlar máquinas, resultando na paragem destas em várias ocasiões.	PT Fresagem.	Julho de 2022.	Diretor de Operações + Recursos Humanos da empresa.	Abrir vaga para operador de CNC (Fresagem). Contratar funcionário com mais competências para o cargo.	Salário de novo funcionário/mês. <i>(Confidencial)</i>
Criação de programa para planeamento do centro.	Planeamento atual demorado, e feito de forma geral, e não por máquina. Tempo de maquinação após término do turno não rentabilizado.	PT Fresagem.	Setembro de 2022.	Duarte Oliveira.	Criação de programa, em Excel VBA, para CE inserir os dados relativos a cada dia, ficando o planeamento por máquina, e com informações para rentabilizar o tempo de máquina, após término de turno.	-

Em relação a este plano de ações, importa definir muito bem a razão do surgimento do sistema de *pre-setting*.

Tabela 15. Plano de ações para a Fresagem, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Implementar sistema de <i>Pre-setting</i> .	Fase preparatória de trabalho demorada. Operadores ocupados com vários processos, como finalizar ferramentas, e sem conseguirem preparar trabalho de iniciação à OF, como medir ferramentas, fazendo-o com máquinas paradas. Além disso, operadores da Fresagem precisam de tempo para começarem a fazer processo de Furação.	Centro de Maquinagem.	-	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção + CE do CM.	1) Definir premissas para o preparador e para a fase de preparação. 2) Implementar sistema de <i>pre-setting</i> .	-

Desta forma, estando os operadores de Fresagem sobrecarregados com operações de preparação de ferramentas, deixando-os pouco disponíveis para ajudar o operador do TORN50 no processo de Furação na TN-0020, e, sendo uma das melhorias do Torneamento a passagem desta operação para os operadores de Fresagem, o sistema de *pre-setting* surge como uma reunião, em um único operador do CM, dos desperdícios do centro. Assim, tarefas como medir ferramentas, picar caixas, levar caixas ao PT seguinte, entre outras, deixam de ser executadas pelos operadores de Fresagem, passando a ser executadas por um único operador: o preparador.

Com isso, reduz-se, à Fresagem, um elemento responsável pelo controlo de máquinas, mas os elementos que lá ficam começam a ser responsáveis apenas por esse controlo, não tendo de se preocupar com algumas etapas preparatórias. Ou seja, esses operadores, que ficam responsáveis pelo controlo de máquinas, terão mais máquinas para controlar por operador, mas também têm mais tempo para isso. Desta forma, o objetivo dos operadores de Fresagem passará por evitar, ao máximo, a paragem de máquinas, e o do preparador por garantir o abastecimento de elementos de maquinação, a um ritmo que garanta que os operadores associados às máquinas têm sempre os elementos necessários para maquinar as ferramentas para o cliente.

5.2.3 Plano de implementação de SMED na Fresagem

De forma a identificarem-se eventuais melhorias na Fresagem, foi elaborado um plano SMED, para diminuir o *setup* desta operação, que se encontra na Tabela 16 e na Tabela 17.

Tabela 16. Plano SMED para a Fresagem (1ª Parte).

Etapa do SMED	Melhoria "What?"	Motivo "Why?"	Local "Where?"	Prazo "When?"	Responsável "Who?"	Método "How?"	Custo "How much?"
1. Separação de atividades de <i>setup</i> em externas e internas.	Criar folha de preparação de trabalho.	Operadores não preparam trabalho, fazendo atividades que deveriam ser externas, com a máquina parada.	PT Fresagem	Julho de 2022.	Duarte Oliveira.	Criar folha para colocar nas máquinas de Fresagem, onde se indica tudo o que os operadores devem preparar para cada operação.	-
2. Converter atividades internas em atividades externas. 3. Racionalizar atividades internas e atividades externas.	Base de dados afeta a cada uma das máquinas, na Programação.	Programas vêm com ferramentas <i>standard</i> , bem como velocidades de avanço incorretas, tendo que percorrer-se o programa a alterar as suas posições e velocidades.	Dpt. de Programação	Junho de 2022.	Operador de Programação.	1. Recolher ferramentaria <i>standard</i> de cada máquina, e velocidades de avanço utilizadas para cada ferramenta de maquinação. 2. Criar base de dados, que converte automaticamente esses registos, consoante a máquina para onde se envia programa.	-
	Utilizar lanterna para verificar furos.	Com pistola de ar, verifica-se furo a furo, colocando o dedo na base da ferramenta, e verificando se sai ar.	PT Fresagem	Julho de 2022.	Operadores da Fresagem.	Colocar lanterna no furo de trás da ferramenta, e verificar saída de luz nos furos de lubrificação.	5,85 € (Lanternas)
	Sistema de etiquetagem.	Mesmas ferramentas de maquinação a serem medidas várias vezes, apesar de não serem alteradas as características, pois não se guardam dados de medições de ferramentas. Inúmeras confirmações de posições das ferramentas na torreta das máquinas.	PT Fresagem	Agosto de 2022.	Duarte Oliveira.	1. Comprar fitas magnéticas, para colar etiquetas, e guardarem-se dados das ferramentas. 2. Criar quadro para cada máquina, para verificação da posição de cada ferramenta na máquina. 3. Definir procedimento para sistema de etiquetagem.	101 € (Fitas magnéticas de cores)

Das melhorias apontadas, importa destacar uma delas: o sistema de etiquetagem. Apesar de, quando o sistema de *pre-setting* estiver implementado, a etapa de medir ferramentas deixar de ser da responsabilidade dos operadores afetos às máquinas, mas sim do preparador, esta melhoria reduzirá o tempo de preparação de ferramentas por parte dele.

Tabela 17. Plano SMED para a Fresagem (2ª Parte).

Etapas do SMED	Melhoria "What?"	Motivo "Why?"	Local "Where?"	Prazo "When?"	Responsável "Who?"	Método "How?"	Custo "How much?"
2. Converter atividades internas em atividades externas. 3. Racionalizar atividades internas e atividades externas.	Programação fazer programas a partir da base da ferramenta.	Programação faz programas consoante topo da ferramenta, o que é variável de OF para OF, e por isso se tira o 0 sempre para uma nova OF.	Dpt. de Programação	Setembro de 2022.	Operadores de Programação.	Fazer programas e estratégia de maquinação das ferramentas, tendo em conta a base do aperto, uma vez que esta é sempre igual para diferentes OF.	-
	Criar macro de rebarbagem na Programação.	As ferramentas não deveriam vir com tantas imperfeições após maquinadas.	Dpt. de Programação	Setembro de 2022.	Operador de Programação + Dpt. de Informática da empresa.	Verificar, na Frezite Madeira, macros utilizadas para se fazer a rebarbagem durante maquinação, e adaptar macros à fresagem da FMT.	-
	Ferramentas declaradas pelo nome.	Programas vêm com ferramentas de maquinação declaradas numa posição, tendo que garantir que as ferramentas estão nessas posições, ou então alterar as posições no programa, corrigindo-o.	Dpt. de Programação	Outubro de 2022.	Operador de Programação + CE do CM.	1. Criar um mecanismo de referênciação, que permita identificar as várias ferramentas no centro. 2. Declarar no programa o nome das ferramentas, e não as posições.	-

Posto isto, a melhoria do sistema de etiquetagem surge devido à quantidade de ferramentas de maquinação medidas desnecessariamente. Isto acontece, pois as etiquetas, que saem da máquina de medição, contendo as medidas das ferramentas, medidas essas que são inseridas no programa da máquina, não são guardadas antes de se colocarem as ferramentas na máquina, para se voltarem a colocar após estas ferramentas serem retiradas da máquina, e guardarem-se, assim, os seus dados.

Existe apenas um operador que tenta guardar essas etiquetas, colando-as no monitor da máquina enquanto ela maquina, e voltando a colocá-las nas ferramentas de maquinação, após a sua retirada da máquina. Contudo, como as etiquetas são em papel, acabam por rapidamente ficarem degradadas, devido às colagens e descolagens a que são submetidas, perdendo o efeito fixador, e acabando por ir para o lixo. E, além disso, o facto de serem inúmeras etiquetas coladas no monitor da máquina, torna confuso o processo de identificação da etiqueta associada a cada ferramenta de maquinação.

Posto isto, sugere-se um novo sistema de etiquetagem para as etiquetas que contêm o tamanho da ferramenta, de forma a guardá-las entre utilizações da ferramenta a que estão associadas, e não tendo de estar a medir sempre as ferramentas. Ao mesmo tempo, este sistema deve garantir a visualização instantânea das ferramentas colocadas em cada posição da torreta de cada máquina.

5.2.4 Plano de implementação de sistema de *pre-setting*

Havendo a implementação de um sistema de *pre-setting*, de forma a eliminar tempo de preparação por parte dos operadores da Fresagem, tempo esse que deverá ser utilizado no processo de Furação, torna-se importante definir as etapas de implementação do sistema de *pre-setting*. Estas etapas estão definidas na Tabela 18.

Tabela 18. Plano de implementação de sistema de *pre-setting*.

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Definição do preparador	Preparador deve estar bem preparado para assumir tarefa de <i>Pre-setting</i> .	Centro de Maquinagem.	Agosto de 2022.	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção + CE do CM	Criação de matriz de competências para a tarefa de preparação.	-
Colocação de carrinhos de abastecimento, para preparador.	Necessidade de carrinhos, para preparador colocar ferramentas de maquinação e outros elementos requeridos para cada OF.	Centro de Maquinagem.	Setembro de 2022.	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção	1. Definição do nº de carrinhos de abastecimento necessários, para cada máquina. 2. Compra de carrinhos de abastecimento para cada máquina.	≈2500€ (8 Carrinhos)
Criar fluxo de informação para o <i>Pre-setting</i> .	Necessidade do preparador saber o que deve preparar a seguir.	Centro de Maquinagem.	Novembro de 2022.	Duarte Oliveira + Supervisor de Produção + CE do CM + Operadores de Programação + Dpt de Informática	1. Conceção de macro na programação, no <i>dashboard</i> de Planeamento, para criação de lista de ferramentas necessárias para cada OF, e definição da máquina para a qual é cada programa. 2. Integração do programa de planeamento, por máquina, no <i>dashboard</i> de Planeamento. 3. Colocação de novo computador no CM, para preparador ter acesso ao <i>dashboard</i> .	800€ (Computador) 10.5€/mês (Licença de Office)

5.3 Plano de ações de melhoria do *layout* do Centro de Maquinagem

Tal como indicado, o *layout* do CM necessitava de uma reconfiguração, tendo em conta a chegada de uma nova máquina, e a saída de outra.

Posto isto, foi realizado um plano de ações, para a reconfiguração desse *layout*, também com base na ferramenta 5W2H, tal como expresso na Tabela 19 e na Tabela 20.

Tabela 19. Plano de ações para a reconfiguração do layout do CM, com base na ferramenta 5W2H (1ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Remoção da CM-0016.	CM-0016 não utilizada.	Centro de Maquinagem.	Junho de 2022.	Dpt de Manutenção da Empresa.	-	-
Remoção do "Armário 4".	"Armário 4" pouco utilizado.		Junho de 2022.		Distribuir artigos necessários do "Armário 4" por armários do Torneamento e Fresagem.	-
Remoção da "Maq. EQ."	Máquina de equilibragem – "Maq. EQ." – não utilizada.		Junho de 2022.		-	-
Colocar CM-0007 na perpendicular com a CM-0020.	CM-0007 substituir função da CM-0006.		Agosto de 2022.		-	-
Rodar TN-0020.	TN-0020 obstruindo a deslocação entre máquinas de Torneamento e PC e Zoller.		Agosto de 2022.		-	-
Colocar nova máquina (CM-0023) no local atual da CM-0007.	Chegada da nova máquina para APM.		Setembro de 2022.		-	-
Diminuir movimentação do operador do Torneamento até à "Mesa 2".	Longo percurso do operador do PT Torneamento para utilizar utensílio para troca de ferramenta na "Mesa 2".		Setembro de 2022.		Comprar utensílio de troca de ferramenta, e colocar no PT do Torneamento, em específico, no TN-0020.	154€.
Colocar retificadora plana junto a CM-0014 e Soldadura.	Retificadora plana utilizada apenas por operador da CM-0014 e operador da Soldadura e longe destes.		Setembro de 2022.		-	-
Colocar elementos de medição e troca de ferramentas de maquinação numa posição central do centro.	Operadores da Fresagem com longos percursos para picarem caixas, no "PC".		Setembro de 2022.		-	-
	Operadores de Fresagem – CS com longos percursos para irem medir ferramentas, irem buscar ferramentas ao armário automático – "Armazém de ferramentas" -, ou irem à mesa de Shrink.	-		-		

Tabela 20. Plano de ações para a reconfiguração do layout do CM, com base na ferramenta 5W2H (2ª parte).

O quê? "What?"	Porquê? "Why?"	Onde? "Where?"	Quando? "When?"	Quem? "Who?"	Como? "How?"	Quanto? "How much?"
Colocar bancada de trabalho junto à CM-0014.	"Mesa 3" unicamente utilizada por operador da CM-0014, e longe deste.	Centro de Maquinagem.	Setembro de 2022.	Dpt de Manutenção da Empresa.	Comprar bancada de trabalho nova.	1180€.
	Deslocação relativamente longa do operador da CM-0014 para finalizar ferramentas à "Mesa 1" ou "Mesa 4", consoante ocupação destas.					
Colocar "Armário 1" e "Armário 2" numa das extremidades do centro.	"Armário 1" e "Armário 2", obstruindo movimentações e visão entre máquinas de Fresagem.		Setembro de 2022.		-	-

Uma vez que se verificaram, também, as longas movimentações dos operadores de Fresagem ao Dpt de Programação, para discutir problemas de programação, foi sugerida a passagem do Dpt de Programação para a área do CM. Contudo, esta ação não foi aprovada pelo Supervisor de Produção, devido ao fluxo de informação existente entre os operadores do Desenho e da Programação, que requer, também, a proximidade destes para averiguar problemas.

6.2 Implementação de melhorias no Torneamento

Começando pelas melhorias no Torneamento, foram aplicadas várias, quer de um nível de complexidade reduzido, como de um nível de complexidade mais avançado.

6.2.1 Procedimento de priorização de atuação em máquinas

Tal como observado, um dos problemas apontados para as máquinas estarem mais tempo paradas foi a atuação, de forma errada, na máquina que demoraria mais tempo a preparar para voltar a maquinar. Posto isto, com base nos tempos recolhidos para o gráfico de análise de processo do Torneamento, foram definidas prioridades de atuação nas máquinas, de forma aos operadores atuarem sempre na máquina cuja operação de *setup* é menor, para voltar a maquinar.

Para os operadores verificarem essa prioridade, e assim atuarem corretamente, foi afixado nas máquinas de Torneamento um documento que contém essa prioridade, tal como ilustra o final da Figura 97, no Apêndice IX – Folhas de preparação de trabalho e prioridade de atuação nas máquinas do Torneamento.

6.2.2 Mecanismo de limpeza dos apertos das máquinas

De forma a evitar que os cones das ferramentas tivessem de ser polidos, por ficarem degradados após saírem das máquinas, foi implementado um mecanismo de limpeza mais eficiente dos apertos das máquinas, que retira, mais eficientemente que a pistola de ar, as impurezas neles presentes. Este denomina-se cone fêmea de limpeza, e está ilustrado na Figura 53.



Figura 53. Cone fêmea de limpeza de apertos HSK.

6.2.3 Reformulação do envio de cotas, por parte do Departamento de Desenho

Para garantir que as cotas eram as necessárias para a realização do Torneamento, foram recolhidas essas cotas, com os operadores do Torneamento. Depois, para garantir que o Dpt de Desenho começaria

a enviar as cotas corretas, e também para normalizar esse processo, foi criada uma lição singular (LS), e anexada no quadro presente no Dpt de Desenho. Esta lição singular pode ser encontrada na Figura 99, no Apêndice X – LS e procedimentos operacionais criados ao longo do projeto.

6.2.4 Organização do “tapete” de carga

Tendo em conta a dificuldade de os operadores observarem os números das caixas que constituíam o *buffer* do seu posto, a colocação do “tapete” foi reformulada, tal como demonstra a Figura 54.



Figura 54. Alteração no "tapete" de carga do Torneamento.

6.2.5 Alteração da estratégia de maquinação

A estratégia de maquinação foi alterada, para ferramentas cuja diferença entre o diâmetro em bruto e o diâmetro de topo de ferramenta é maior do que 20 milímetros, uma vez que, pelos programas avaliados, foi detetado que a partir dessa distância começava a compensar alterar a estratégia de maquinação. Na Figura 55, é possível ver dois exemplos de programas realizados, já com a nova estratégia de maquinação para ferramentas desse género, ou seja, com as operações à face realizadas depois das operações ao diâmetro.

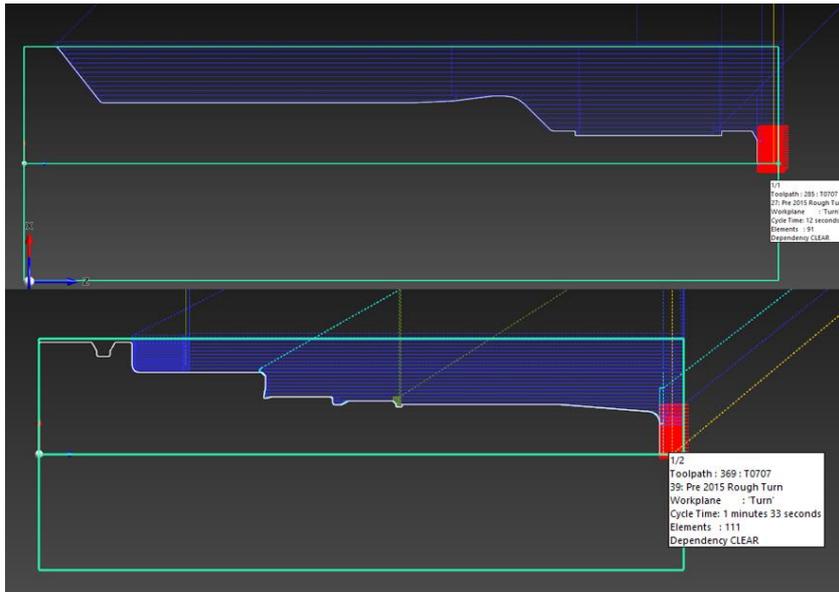


Figura 55. Exemplos de aplicação de estratégia de maquinação eficiente, em ferramentas com diâmetro de topo pequeno.

6.2.6 SMED

Com base no plano de ações e nas melhorias definidas, aplicando SMED, para se reduzir o tempo de *setup*, foram implementadas as listadas de seguida.

Folha de preparação de trabalho

Para os operadores verificarem o que é necessário prepararem, para poderem realizar cada uma das operações que constituem o Torneamento, foi criado, e afixado nas máquinas de Torneamento, o documento presente na Figura 97, no Apêndice IX – Folhas de preparação de trabalho e prioridade de atuação nas máquinas do Torneamento.

Neste documento, encontram-se as várias operações que constituem o Torneamento, estando cada uma delas associada com os elementos que são necessários para a realizar. Assim, o operador, enquanto a máquina está a maquinar, realizando uma determinada operação, deve verificar o que é necessário preparar para a operação a seguir, diminuindo, assim, o tempo de máquina parada, devido a atividades que deveriam ser realizadas como externas.

Correção do programa, no PC

Para evitar correções de programa que levassem a paragens de máquina, estas correções passaram logo a ser realizadas no momento de gerar o programa no PC. No exemplo presente na Figura 56, é possível verificar uma dessas correções. Inicialmente, o programa era chamado para a máquina com todo o desbaste à face, e depois, ao chamar o programa, colocava-se apenas a secção importante desse desbaste e, depois de estipulada esta melhoria, passou a fazer-se essa conversão logo no computador.

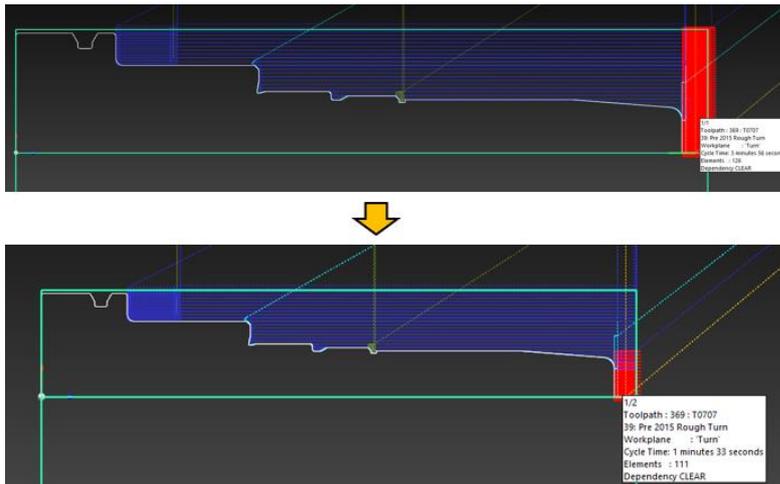


Figura 56. Alteração na concepção do programa de Torneamento no PC.

Concepção e correção de macros para programação

Recorrendo a um operador da área do Metal Duro, que já tinha sido operador no Torneamento, foram corrigidas macros que originavam correções desnecessárias do programa. Juntamente com essa correção, várias macros foram criadas, para automatizar o processo de programar, tal como demonstra a Figura 57.

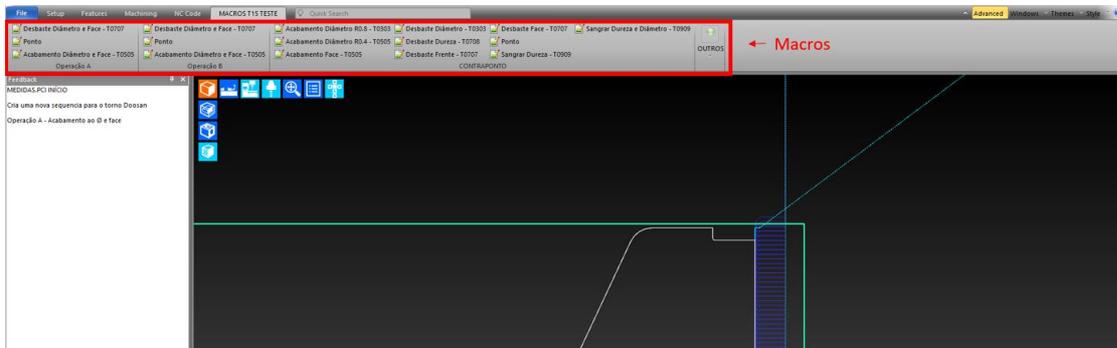


Figura 57. Macros implementadas na programação do Torneamento.

Além disso, foi criado um pós-processador para a TN-0016, uma vez que, no início do projeto, tinham de ser feitos dois programas diferentes, caso se quisesse enviar a mesma ferramenta para as duas máquinas. Com a implementação desse pós-processador, após feito o programa, é possível enviá-lo para qualquer uma das máquinas. Esse pós-processador tem em consideração várias características da máquina TN-0016, de forma que os programas se adaptem a essas características, tal como demonstra a Figura 58.

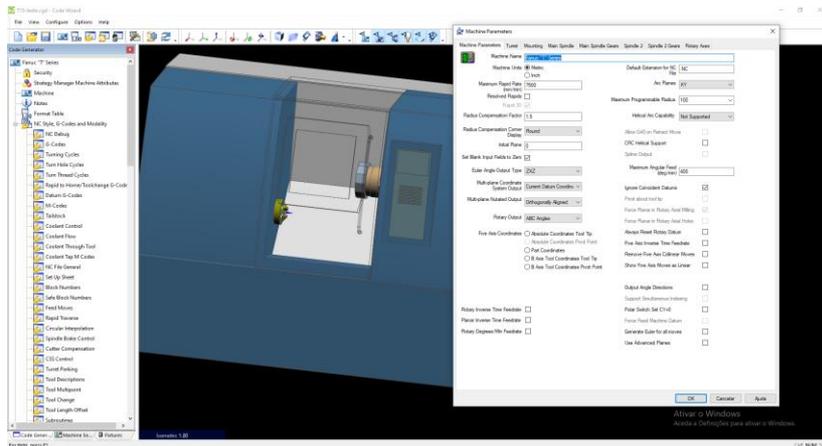


Figura 58. Pós-processador criado para a máquina TN-0016.

Organização das gavetas das brocas e das pinças

Para evitar os tempos gastos à procura de material de maquinação, foi definida, no plano 5S, a organização das gavetas das brocas e das pinças, ordenando por tamanho e identificando esses materiais. A Figura 59 ilustra o resultado.

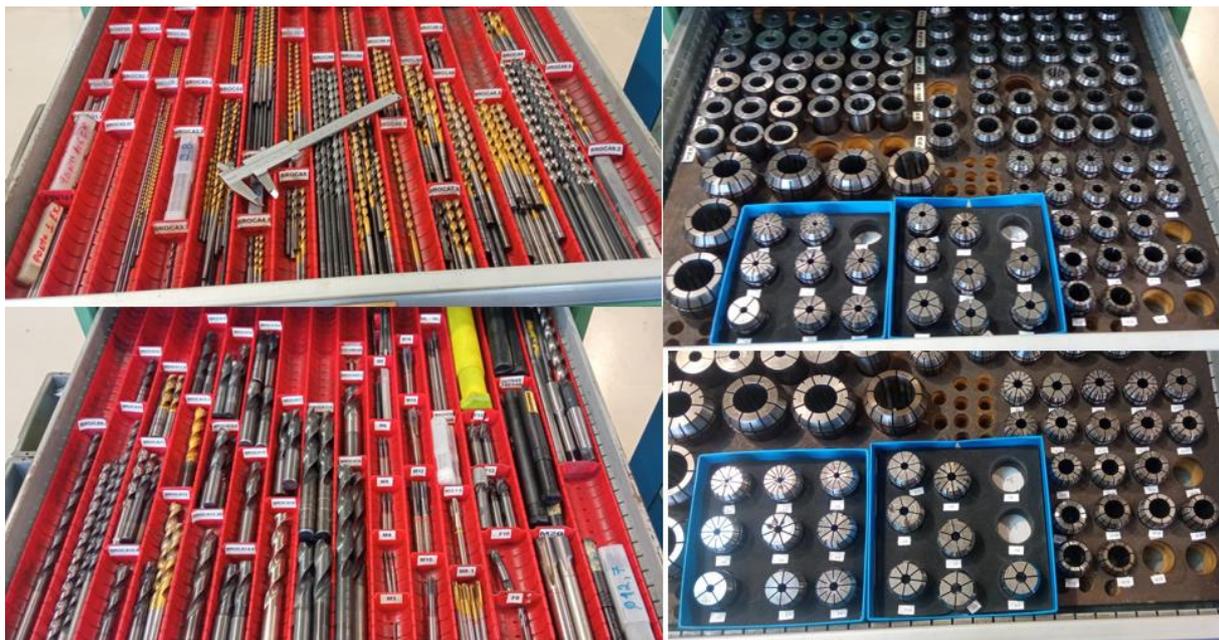


Figura 59. Gavetas das brocas e das pinças organizadas.

6.2.7 Melhorias não implementadas no Torneamento

Para além destas melhorias já apresentadas, tal como se pode verificar no Capítulo 5.1, ainda existem outras. Estas ainda não estavam implementadas até ao fim da realização da dissertação, por razões diversas: material necessário ainda por chegar; não aprovação por parte da Gestão da empresa; investimento atrasado nas melhorias; etc.

Colocação de acessório de troca de ferramenta, na TN-0020

Quanto ao acessório de troca de ferramenta, necessário para evitar os movimentos do operador de Torneamento à mesa de Fresagem, este estava já encomendado no final da dissertação, contudo, ainda não tinha chegado à empresa. Este acessório é igual ao presente na Figura 60, e deverá ser montado na TN-0020, para diminuir a deslocação dos operadores.



Figura 60. Acessório de troca de ferramentas necessário para o TORN50.

Substituição do tapete de extração de limalhas da TN-0015

Apesar de eliminar a extração de limalhas manualmente, por parte dos operadores, o tapete de extração da TN-0015 não foi substituído. Isto acontece, pois o investimento num tapete de extração é elevado. A juntar ao facto de a máquina TN-0015 já estar em fase de desgaste, a empresa optou por adquirir uma nova máquina, para a sua substituição.

Essa aquisição faz parte do plano de investimentos para o ano 2023.

Troca de *spindle* da máquina

Para evitar o tempo de troca de aperto, permitindo um aperto mais direto, era necessário trocar o *spindle* da máquina, passando a ser do tipo ISO50. Contudo, este investimento também seria demasiado avultado.

Em compensação, tendo em conta a aquisição de uma nova máquina em 2023, para substituir a TN-0015, foi definido que o *spindle* desta será do tipo enunciado.

Macro para passagem automática do desenho de Torneamento para o desenho de perfil

Com base no tempo gasto a retirarem-se as cotas não importantes do desenho de Torneamento, para este ficar só com o perfil da ferramenta, sendo esse o *input* do programa de Torneamento, sugeriu-se a implementação do *Autocad Pro* no computador do CM, uma vez que este contempla a possibilidade de integração de macros.

Contudo, esta melhoria não foi implementada, uma vez que a programação de Torneamento deveria passar para o Dpt. de Programação, após o fim da dissertação, onde já existia o *Autocad Pro*, sendo desnecessário esse investimento.

6.3 Implementação de melhoria na Furação

Em relação ao processo de furação, a melhoria encontrada relaciona-se com a colocação de uma régua impressa, no “Armário TN-0020”, que evita que os operadores se desloquem ao computador para verificarem o comprimento dos furos centrais, quando o desenho da ferramenta é demasiado grande, e não dá para alocar todo na folha, sendo necessário cortar uma parte. Para além dessa régua, os desenhos que sofrem cortes começaram a vir do Dpt de Desenho com a indicação do comprimento total do furo central no cone. Assim, o operador que realiza a Furação, sempre que tem uma ferramenta cortada no desenho, só tem de verificar o comprimento do furo dessa ferramenta, no desenho, e marcar a broca, usando a régua colocada no “Armário TN-0020”, tal como demonstra a Figura 61.



Figura 61. Régua implementada para medição de brocas.

6.4 Implementação de melhorias na Fresagem

Foram aplicadas várias melhorias na Fresagem, de acordo com o plano de ações. Ainda assim, à semelhança do que ocorreu com o Torneamento, nem todas as melhorias previstas ficaram em execução, até ao final da presente dissertação.

6.4.1 Macros para Programação

Para diminuir o tempo de programação, foi sugerida a implementação de macros na mesma, que tornassem o processo eficiente. A primeira criada, e a única implementada até ao fim da dissertação, foi para melhorar o processo de programar os patins – rasgos laterais - das ferramentas. Nela, os operadores de Programação devem inserir os dados das ferramentas, como demonstrado na Figura 62, gerando-se, automaticamente, a parte de programação dos patins.

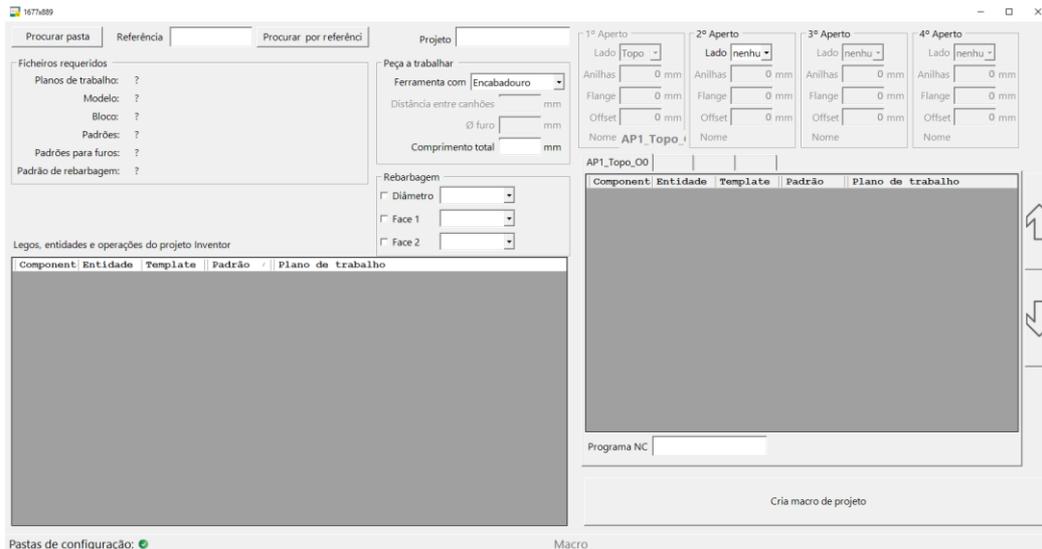


Figura 62. Dados de inserção, para execução da macro dos patins.

Iterativamente, após o término da dissertação, seriam criadas mais macros de forma a melhorar cada vez mais a programação, e diminuir o tempo a ela associado.

Definição da ordem de macros a implementar

Para tal implementação, tornou-se importante definir uma ordem. Assim, criou-se o indicador “Implementação”, que define a ordem pela qual se devem implementar as sucessivas macros na Programação.

Sendo assim, depois de se verificar todas as macros que são possíveis implementar na programação, deve-se determinar uma série de parâmetros para essas macros:

- A percentagem de ferramentas que contém a característica para a qual vai ser implementada a macro. Por exemplo, no caso dos patins, cerca de 30% das ferramentas que passam no CM contém essa característica.
- O tempo de programação atual, ou seja, o tempo médio que demora a programar aquela característica na Programação. Por exemplo, no caso dos patins, o tempo médio de programação era de 55 minutos.
- O tempo de programação futuro, isto é, o tempo que se vai demorar a programar aquela característica, com a implementação da macro. Este tempo pode ser estimado com a ajuda do Dpt de Informática, que realiza a macro, ou então, caso essa macro já exista, na FREZITE, na área de negócio da madeira, verificando-se quanto tempo se demora a aplicá-la.

- O ganho de tempo, ou seja, a diferença entre o tempo de programação atual e o tempo de programação futuro, que descreve quanto tempo se poupará, em termos de programação, na conceção daquela característica nas ferramentas, em cada ferramenta.
- O tempo de implementação, que descreve o tempo estimado, pelo Dpt de Informática, para implementação de determinada macro. No caso dos patins, este tempo foi de 6 semanas.

Depois, o fator “Impacto” revela-se como o produto da percentagem de ferramentas com determinada característica pelo ganho de tempo obtido com a implementação da macro. O indicador “Facilidade”, de forma a ser um indicador também crescente, ou seja, quanto maior, melhor, é o inverso do tempo de implementação da macro.

Com a multiplicação desses dois indicadores, obtém-se o indicador “Implementação”, tal como demonstra a Figura 63. Assim, depois de se definir o valor desse indicador para as várias macros possíveis de implementar, deve-se implementar aquela em que o valor desse indicador é maior.

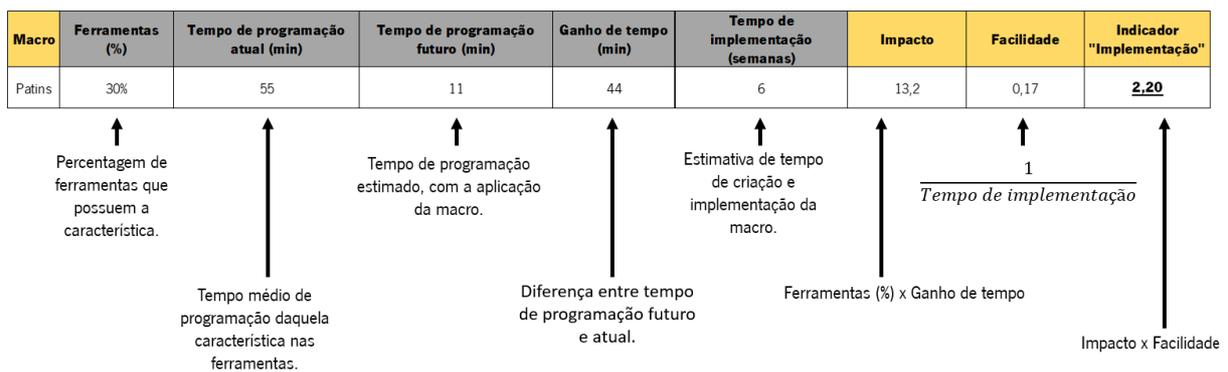


Figura 63. Definição do indicador “Implementação” para macros na Programação.

Posto isto, deve-se seguir o ciclo PDCA presente na Figura 64, implementando as várias macros sucessivamente, escolhendo sempre para implementar a que tem maior índice “Implementação”.

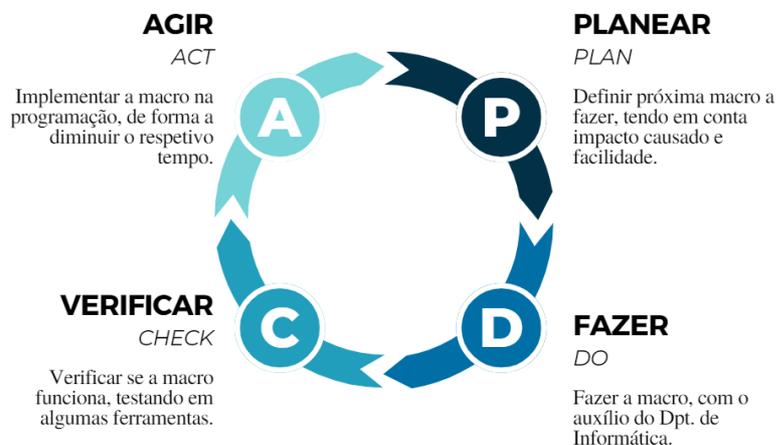


Figura 64. Ciclo PDCA para implementação de macros na Programação.

6.4.2 Contratação de novo funcionário

Tendo em conta a saída do operador afeto ao APM, contratou-se outro operador para o CM, ficando um dos operadores de Fresagem de CS a ter formação para maquinar APM, e o novo operador ficou responsável por CS. Ainda assim, até ao final da dissertação, ambos os operadores ainda estavam em formação, não garantindo total qualidade e quantidade nas respetivas operações.

6.4.3 Reformulação do envio de cotas, por parte do Departamento de Desenho

A LS criada para o Dpt de Desenho, no Torneamento, também foi útil para os operadores da Fresagem.

6.4.4 SMED

Folha de preparação de trabalho

Para a Fresagem, foi criado também um documento de preparação de trabalho, e afixado nas máquinas, para os operadores terem sempre os elementos necessários a cada operação prontos antes de a máquina parar. Este documento encontra-se na Figura 98, presente no Apêndice IX – Folhas de preparação de trabalho e prioridade de atuação nas máquinas do Torneamento.

Eliminação do processo de obtenção de coordenadas da ferramenta

Para eliminar o processo de obtenção da coordenada “z0” e “a0” das ferramentas, foi requerido à programação que comesse a fazer os programas a partir da base do aperto, uma vez que, até esta mudança, se faziam os programas a partir do topo da ferramenta.

Desta forma, como a base do aperto está sempre na mesma posição, trocando apenas a ferramenta que acopla nele, não será mais necessário obter as coordenadas deste.

Base de dados com posições e velocidades *standard* de cada máquina

Para reduzir o tempo de correção de programas, e as pausas para cabeçalhos, foi criada, na Programação, uma base de dados, que contém as posições *standard* de cada máquina, ou seja, as posições das ferramentas de maquinação em cada máquina, que, por norma, não são alteradas. A juntar a isso, a mesma base de dados contém as velocidades de rotação padrão de cada uma dessas ferramentas de maquinação em cada máquina. A Figura 65 ilustra a base de dados criada para a máquina CM-0014.

Com isto, os dados das ferramentas de maquinação colocadas em posições *standard* em cada máquina, por norma, deixaram de ser corrigidos nos programas, contrariando o que acontecia antes da criação desta base de dados.

Posições CM14

Ler percursos
Aplicar

Operação	Ferramenta	Posição	Velocidades
Cortar Ponta 1'	FR010R0 - Desbaste	5	
Pre. Desb. Canal 1' (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Pre. Desb. Canal 1A (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Desb. Canal 1' (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Sarda 1'	FR010R0	6	
Pre. Desb. Perfil Interior 1 (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Pre. Desb. Perfil Interior 1A (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Pre. Desb. Perfil Interior 1B (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Desb. Perfil Interior 1 (Tira 3mm)	FR010R0 - Desbaste 3mm	5	
Desb. Excesso 1'	FR010R0 - Desbaste	5	
Sarda Topo 1'	FR010R0	6	
Pre. Desb. Excc 1'	FR010R0 - Desbaste	5	
Desb. Excc 1'	FR010R0 - Desbaste	5	
Acab. Perfil Interior 1'	FR00R3	24	
Acab. Perfil Interior 1A'	FR00R3	24	
Acab. Perfil Interior 1B'	FR00R3	24	
Acab. Perfil Interior 1C'	FR03R1.5	25	
Acab. Perfil Interior 1D'	FR03R1.5	25	
Desb. Perfil Interior 2'	FR00R3 - Desb	24	
Acab. Perfil Interior 2'	FR03R1.5	25	
Acab. Perfil Interior 1E'	FR03R1.5	25	
Acab. Perfil Interior 1F'	FR03R1.5	25	
Acab. Perfil Interior 1G'	FR03R1.5	25	
Acab. Perfil Interior 1H'	FR03R1.5	25	
Pre. Acab. Lat Canal 1'	FR010R0 - Acabamento	6	
Acab. Lat Canal 1'	FR010R0 - Acabamento	6	
Acab. Canal 1'	FR010R0 - Acabamento	6	
Acab. Razo Canal 1'	FR00R3	24	
Acab. Excc 1'	FR010R0 - Acabamento	6	

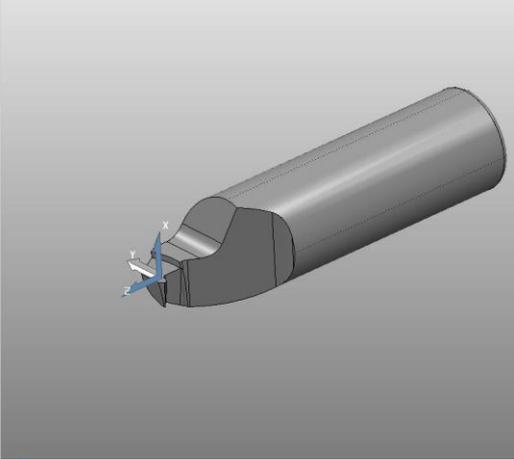


Figura 65. Base de dados de ferramentas standard da máquina CM-0014.

Verificação dos furos de lubrificação das ferramentas com lanterna

Outra melhoria implementada assenta na utilização de uma lanterna para verificar os furos.

Basicamente, colocando a lanterna na base da ferramenta, consegue-se ver se se propaga a luz inerente a ela em todos os furos. Assim, deixou-se de utilizar a pistola de ar para tal operação. A Figura 66 ilustra esse processo.



Figura 66. Utilização de lanterna para verificar furos de lubrificação das ferramentas.

Sistema de etiquetagem

Com vista a reduzir-se o número de medições diárias de ferramentas de maquinação, foi implementado um novo sistema para a etiquetagem.

Como era importante guardar as etiquetas que continham os dados das ferramentas, compraram-se fitas magnéticas, onde as etiquetas deveriam ser coladas, ficando, depois, junto das ferramentas de maquinação, após estas saírem das máquinas.

Para garantir uma gestão visual eficaz, colocaram-se, nas máquinas, folhas com a indicação de cada posição das mesmas, semelhantes à da Figura 67, de forma que a etiqueta de cada ferramenta fosse colocada na posição respetiva nessa folha. Isto acarreta duas vantagens: 1) facilidade de verificar a

etiqueta correspondente a cada posição, e o seu conteúdo, caso seja necessário durante a execução do programa; 2) rapidez na extração de ferramentas de maquinação da torreta da máquina, sabendo-se em que posição está a ferramenta, ao olhar para a folha de etiquetas, e não sendo necessário rodar a torreta devagar para encontrar a ferramenta necessária.



Figura 67. Quadro de etiquetas da máquina CM-0014.

Depois, criou-se um código de cores por máquina, de forma a garantir dois aspetos essenciais:

- 1) Facilidade ao ir buscar as ferramentas para uma máquina, filtrando-se apenas as com etiqueta da cor associada à máquina;
- 2) Gestão da ferramentaria das ferramentas de maquinação, uma vez que, caso se olhe para o quadro de etiquetas de uma máquina, e se veja outra cor em algumas das etiquetas, que não a associada à máquina, isso pode ser indicativo de que aquela ferramenta está em escassez no posto, estando a ser partilhada por várias máquinas, e podendo levar a paragem destas, caso seja necessária em duas ou mais máquinas ao mesmo tempo. Com isso, ao observar-se casos destes, e se for do interesse do Supervisor de Produção e do Diretor de Operações, poder-se-á aumentar o número de ferramentas daquele género.

Tendo em conta este código de cores, foram disponibilizadas, junto à máquina de medição de ferramentas, as fitas magnéticas cortadas, onde deveriam ser coladas as etiquetas, tal como ilustra a Figura 68.



Figura 68. Buffer de fitas magnéticas.

Assim, após medirem as ferramentas de maquinação, os operadores colam as etiquetas com essas medições na fita magnética com a cor da máquina onde se vai colocar a ferramenta, ficando a parte mais à direita da fita à vista, tal como demonstra a Figura 69.



Figura 69. Processo de colagem de etiqueta na fita magnética.

De seguida, os operadores colocam as ferramentas na máquina, e colam o conjunto “etiqueta-fita magnética” no quadro de etiquetas respetivo, tal como demonstra a Figura 70.



Figura 70. Quadros de etiquetas presentes nas máquinas de Fresagem.

Assim, esse plano será útil para verificar dados por máquina, que não se verificavam até então. Por exemplo, a percentagem de OF com NC é abordada apenas no centro em geral, mas, caso se soubesse em que máquina foi feita cada OF, poderia calcular-se o fator “Qualidade”, por máquina, chegando ao indicador OEE, por máquina, e não apenas à sua média, no centro.

Menu do programa

Abrindo o *Exce/* com o programa, é apresentado o Menu, com botões distintos:

- Registo da data e do turno: aqui, o CE deve indicar o dia para o qual está a fazer o plano, e também o início e o fim do turno associado a esse dia.
- Escolha da máquina, para realizar o plano.
- Planeamento, para uma vista geral do plano do centro, para o dia.

O Menu do programa, pode ser visto na Figura 72.

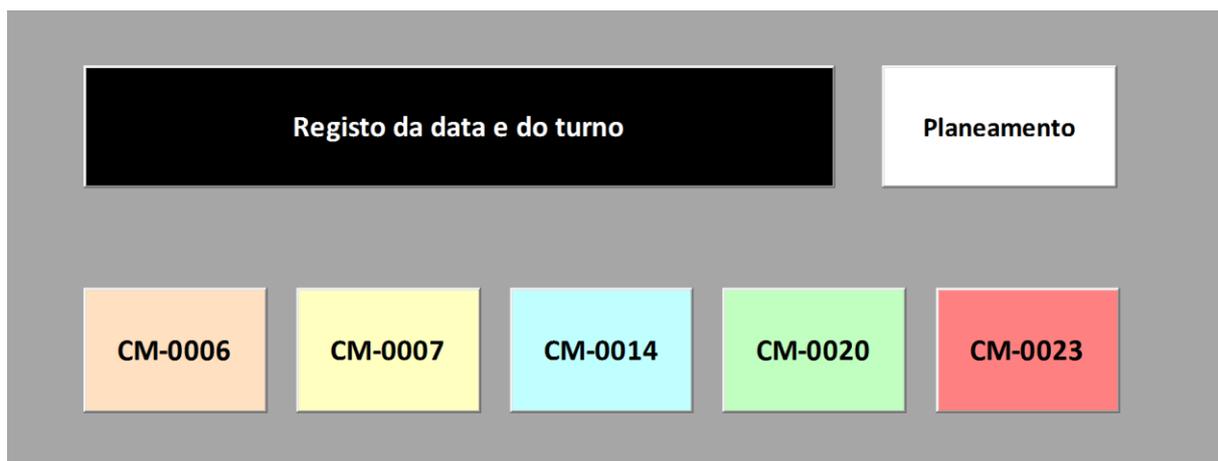


Figura 72. Menu do Programa de Planeamento do CM.

Plano por máquina

Após inserida a data e o turno, o CE deve ir a cada uma das folhas das máquinas, e indicar o plano para essa máquina, com as informações de cada OF associada, respondendo a um conjunto de perguntas que lhe são feitas, quando seleciona a opção “Inserir nova linha”. Deve também indicar o tempo estimado para a 1ª ferramenta de uma dada encomenda, tendo em conta os controlos que esta tem, e o tempo estimado para as restantes, ou seja, após verificar-se que não ocorreram problemas com a 1ª ferramenta.

À medida que vai preenchendo esses dados, é atualizado o *output* associado a essa máquina, quer em termos de quantidade, quer em termos de valor, para verificação por parte do CE, ajudando a perceber

se irá cumprir o objetivo diário. É importante referir que este *output* contabiliza apenas as OF que vão acabar de ser maquinadas nesse dia. Por exemplo, apesar de uma OF com um determinado valor associado fazer parte do plano para o dia, esse valor não é contabilizado no *output* da máquina, se alguma das ferramentas dessa OF ficar na máquina, ou ficar por maquinar, no fim do turno desse dia. Isto, porque essa OF, apesar de começar a ser maquinada nesse dia, vai ser picada no *Autoflow* no dia seguinte, contando para o *output* do centro apenas no dia seguinte.

Existem, depois, duas mensagens importantes que podem surgir quando o tempo de uma dada OF em máquina ultrapassa o tempo do final de turno, e que ajudam a otimizar o tempo de maquinação após o término do turno.

Se se insere uma OF, e o tempo de término da 1ª ferramenta dessa OF excede o tempo de fim de turno, é exibida uma mensagem com essa informação, e também a indicar o tempo disponível para trabalhar essa ferramenta, tal como representado na Figura 73. Sendo que a coluna “fim em máquina” dessa OF, nesse dia, fica como o fim do turno, uma vez que, tendo em conta os cabeçalhos realizados, a ferramenta dificilmente ficará a maquinar para além do término do turno.

The screenshot shows a software interface for production planning. At the top, there are buttons for 'Inserir linha' and 'Eliminar linha'. A summary table for 'CM-0023' shows the date '20/09/2022', shift '8 às 17', and an 'Output' of 4 units with a value of 4.547,08 €. Below this is a main table with columns: Data, Caixa, Referência, Quantidade, Tipo, Valor, Tempo estimado (1ª ferramenta), Tempo estimado (restantes ferramentas), Início em máquina, Fim em máquina, Tempo maquinação após término do turno, Tempo livre, and Ferramenta na máquina. Two rows are visible: one for '20/09/2022' with 'Caixa 1881' and 'Referência E944.1185' (Urgência, 4 units, 4.547,08 €), and another for '20/09/2022' with 'Caixa 2744' and 'Referência E940.0176' (Normal, 7 units, 12.991,03 €). A 'Microsoft Excel' dialog box is overlaid on the table, displaying the message: 'A 1ª ferramenta da caixa 2744, com a referência E940.0176, já não fica concluída hoje. O tempo disponível para se trabalhar nessa ferramenta é: 0 horas 40 minutos.' with an 'OK' button.

Figura 73. Mensagem exibida, no programa de Planeamento, para um turno que termina com a maquinação da 1ª ferramenta de uma OF.

Se se insere uma OF, e o tempo de término de uma ferramenta dessa OF, que não a primeira, excede o tempo de final de turno, é exibida uma mensagem a indicar que ferramenta associada a essa OF ficará na máquina, o tempo de maquinação após o término de turno, e um parâmetro denominado “tempo livre”, tal como demonstra a Figura 74.

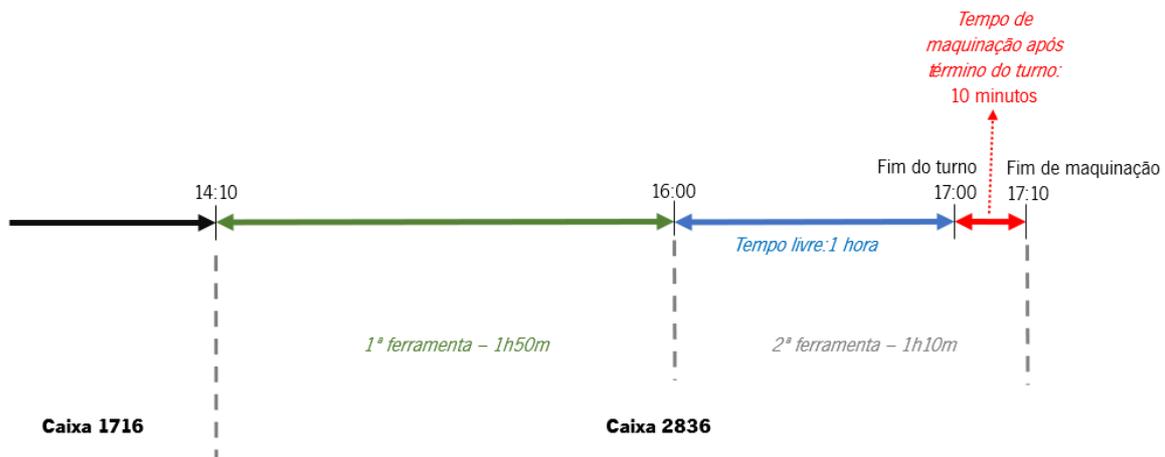


Figura 75. Definição do “tempo livre” planeado associado a um dia de Fresagem.

Como, numa OF com várias ferramentas, após se ter maquinado a primeira, é necessário apenas colocar as restantes na máquina e deixar a maquinar, este início de maquinação da segunda ferramenta pode ser adiado para perto do fim de turno, e aproveitar o “tempo livre” para começar a preparar outra OF: começar a maquinar a 1ª ferramenta, etc. Desta forma, o tempo após término de turno será otimizado, e o tempo de turno será rentabilizado para se prepararem mais OF para o cliente.

No caso apresentado na Figura 76, o “tempo livre” apresentado na Figura 75, é utilizado para começar a maquinar a 1ª ferramenta de uma nova OF, voltando a colocar a caixa 2836, e a 2ª ferramenta dessa caixa, no fim do turno, e deixando-a a maquinar todo o seu TC, ou seja, 1 hora e 10 minutos.



Figura 76. Distribuição do tempo de Fresagem de um dia, com otimização do “tempo livre” e de maquinação após término do turno.

Plano geral do centro

Depois de feito o plano diário para cada máquina, o CE deve clicar em “Planeamento”, para lhe ser mostrado o plano geral para o dia, e o *output* estimado do centro, nesse dia, tal como apresentado na Figura 77. Na mesma folha, é possível verificar que existe uma coluna para a “Programação” e uma coluna para o “Estado”. Em relação ao “Estado”, este relaciona-se com o facto de a encomenda estar ou não já concluída, sendo que, quando se pica no *Autoflow* a caixa, o estado deverá ficar com um

símbolo que indique que a OF está concluída. Quanto à “Programação”, o objetivo da criação desta coluna será abordado no capítulo seguinte.

Planeamento - Centro de Maquinagem															Data: 20/09/2022																													
Legenda	Código de cores																																											
	Caixa	Referência	Tempo de término	Programação	Estado	Normal	Urgência	Reparação	Reclamação																																			
CM-0006			CM-0007			CM-0014			CM-0020			CM-0023																																
2822	YR976.0131	11:03:00				1934	E991.13692	09:37:00				1746	E991.10692	11:23:00				1835	E991.13761	10:15:00				1881	E944.1185	16:55:00																		
1571	E991.10683	18:38:00				2484	E980.7379	12:47:00				2188	E991.8244	16:43:00				1716	E992.0089	14:10:00				2744	E940.0176	17:00:00																		
						2462	E980.3374	18:04:00				2798	E991.13733	17:00:00				2836	E991.7070	17:10:00																								
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>544,88 €</td><td>12</td></tr> </table>			Output		Valor	Qtd.	544,88 €	12	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>2 627,29 €</td><td>3</td></tr> </table>			Output		Valor	Qtd.	2 627,29 €	3	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>8 830,42 €</td><td>8</td></tr> </table>			Output		Valor	Qtd.	8 830,42 €	8	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>1 777,51 €</td><td>3</td></tr> </table>			Output		Valor	Qtd.	1 777,51 €	3	<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>4 547,08 €</td><td>4</td></tr> </table>			Output		Valor	Qtd.	4 547,08 €	4
Output																																												
Valor	Qtd.																																											
544,88 €	12																																											
Output																																												
Valor	Qtd.																																											
2 627,29 €	3																																											
Output																																												
Valor	Qtd.																																											
8 830,42 €	8																																											
Output																																												
Valor	Qtd.																																											
1 777,51 €	3																																											
Output																																												
Valor	Qtd.																																											
4 547,08 €	4																																											
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Output total planeado</th></tr> <tr><td>Valor</td><td>Qtd.</td></tr> <tr><td>18 327,18 €</td><td>30</td></tr> </table>					Output total planeado		Valor	Qtd.	18 327,18 €	30																																		
Output total planeado																																												
Valor	Qtd.																																											
18 327,18 €	30																																											

Figura 77. Folha "Planeamento", do programa de planeamento do CM.

6.4.6 Sistema de *pre-setting*

Para a implementação do sistema de *pre-setting*, são necessárias várias etapas.

Definição do preparador

Para avaliar quem deveria ser o preparador, ou seja, o operador afeto ao sistema de *pre-setting*, foi elaborada a matriz de competências presente no Apêndice XI – Matriz de competências para o *pre-setting*. Nela, foram considerados dois critérios:

- Competência para cada operação, avaliada de 0 a 3, em que 0 significa que o operador não tem conhecimento de como se executa aquela operação, e em que 3 significa que o operador demonstra saber fazer essa operação com mestria.
- Importância daquela operação para as etapas preparatórias que o preparador deverá vir a realizar, avaliada de 1 a 4, sendo que 1 expressa uma etapa que, depois de melhorados os processos iniciais inerentes ao preparador, poderá vir a ser necessária saber executar, para preparar trabalho, ainda que não sendo um dos objetivos a curto prazo; e 4, que expressa as atividades que o preparador tem necessidade de saber executar, logo no início da implementação do sistema de *pre-setting*.

Definidos estes dois critérios para cada uma das atividades, foi calculado o índice de preparação de trabalho, com base na Equação 17.

$$\text{Capacidade de preparação} = \sum_i^n \text{Coeficiente de preparação}_i \times \text{Nível de competência}_i ,$$

$n = n^{\circ}$ de etapas de preparação

Equação 17. Índice de capacidade de preparação.

Posto isto, verificou-se que o capitão de equipa e o operador 3 eram os que estavam mais bem preparados para tal função, com índices de 176 e 178, respetivamente. Em discussão entre o capitão de equipa e o supervisor de produção, após análise desta matriz, optou-se por escolher o capitão de equipa como preparador, pelo menos numa fase inicial, até o operador novo, ainda em formação, ganhar mais competências no posto, e libertar o CE da maioria das tarefas de produção.

Colocação dos carrinhos de abastecimento, para utilização do preparador

Como, para distribuir ferramentas de maquinaria e outros elementos, são necessários carrinhos para os levar, foi calculado o número de carrinhos necessários para cada máquina, e a capacidade destes em termos de ferramentas de maquinaria.

Para o cálculo do número de carrinhos, foi importante definir, primeiramente, o número de posições em cada carrinho. Para tal, teve-se em conta o número máximo de trocas de ferramentas de maquinaria, na máquina, para as diferentes OF, e chegou-se à conclusão de que eram necessárias 15 posições nos carrinhos de abastecimento das máquinas de Fresagem de CS, e 30, tendo em conta a complexidade das ferramentas de APM, o número de posições necessárias nos carrinhos de abastecimento da CM-0023, ou seja, a máquina que viria a realizar a fresagem de APM.

Depois, recorreu-se à fórmula de cálculo do número de caixas, na implementação de um sistema de duas caixas, uma vez que os carrinhos poderão ficar junto às máquinas com as ferramentas muito tempo, se as ferramentas de maquinaria forem colocadas gradualmente na máquina ao longo do processo de maquinaria, e não logo todas antes da maquinaria. Esse cálculo pode ser visto na Tabela 21. Tal como demonstrado nessa tabela, e, apesar de cada carrinho ter capacidade para 15 ou 30 ferramentas, a quantidade usada para o cálculo do número de carrinhos foi apenas 1, pois os carrinhos teriam a capacidade de suportar ferramentas de maquinaria para as ferramentas de apenas uma OF, de cada vez.

Com base neste cálculo, chegou-se à conclusão de que seriam necessários dois carrinhos para cada uma das máquinas.

Tabela 21. Dados utilizados para o cálculo do número de carrinhos de abastecimento de ferramentas de maquinação.

Dado	Unidade	Fresagem CS			Fresagem APM
		CM-0007	CM-0014	CM-0020	CM-0023
Procura (P)	pçs/hora	1,25	1,25	1,25	0,0083
Prazo de entrega (LT)	horas	0,20	0,20	0,20	0,40
Prazo de segurança (PS)	horas	0,25	0,25	0,25	0,25
Quantidade (Q)	pçs	1	1	1	1
Fórmula	nº de carrinhos (N)	$N = \frac{P \cdot (LT + PS)}{Q} + 1$			
Nº de carrinhos	unidades	1,56 ≈ 2	1,56 ≈ 2	1,56 ≈ 2	1,01 ≈ 2

Dados utilizados			
Dado	Unidade	FRES50	FRAM50
Procura (Objetivo)	pçs/dia	30	4
Preparação de ferramentas	minutos	12,12	24,23

Depois, definiram-se as características dos carrinhos necessários, e pediram-se carrinhos semelhantes aos da Figura 78.



Figura 78. Carrinhos semelhantes aos de abastecimento das máquinas de Fresagem.

Os carrinhos devem ter duas bases de apoio: uma superior para colocar as ferramentas de maquinação, e uma inferior para colocar as caixas das ferramentas da OF e outros elementos necessários, como *bits* de controlo ou o aperto necessário para acoplar a ferramenta para o cliente na máquina. Além disso, devem ter um suporte para colocar os desenhos das ferramentas, e outros documentos importantes, tais como a *checklist* associada à OF.

Os carrinhos necessários, no fim da presente dissertação, estavam ainda em fase de desenho e orçamentação por parte do fornecedor, sendo esse o motivo de não ser apresentada uma imagem deles, mas apenas de carrinhos semelhantes.

Definição das rotas dos carrinhos de abastecimento

Para verificar como iriam fluir os carrinhos no centro, foi elaborada a Figura 79, onde se definiu o local de colocação dos carrinhos em *buffer* e o local de colocação dos carrinhos junto às máquinas, após

preparados. Nesta análise de movimentações, foi utilizado o sistema de cores de cada máquina, criado para o sistema de etiquetagem, sendo que os carrinhos também devem ter a cor associada à máquina para a qual são necessários.

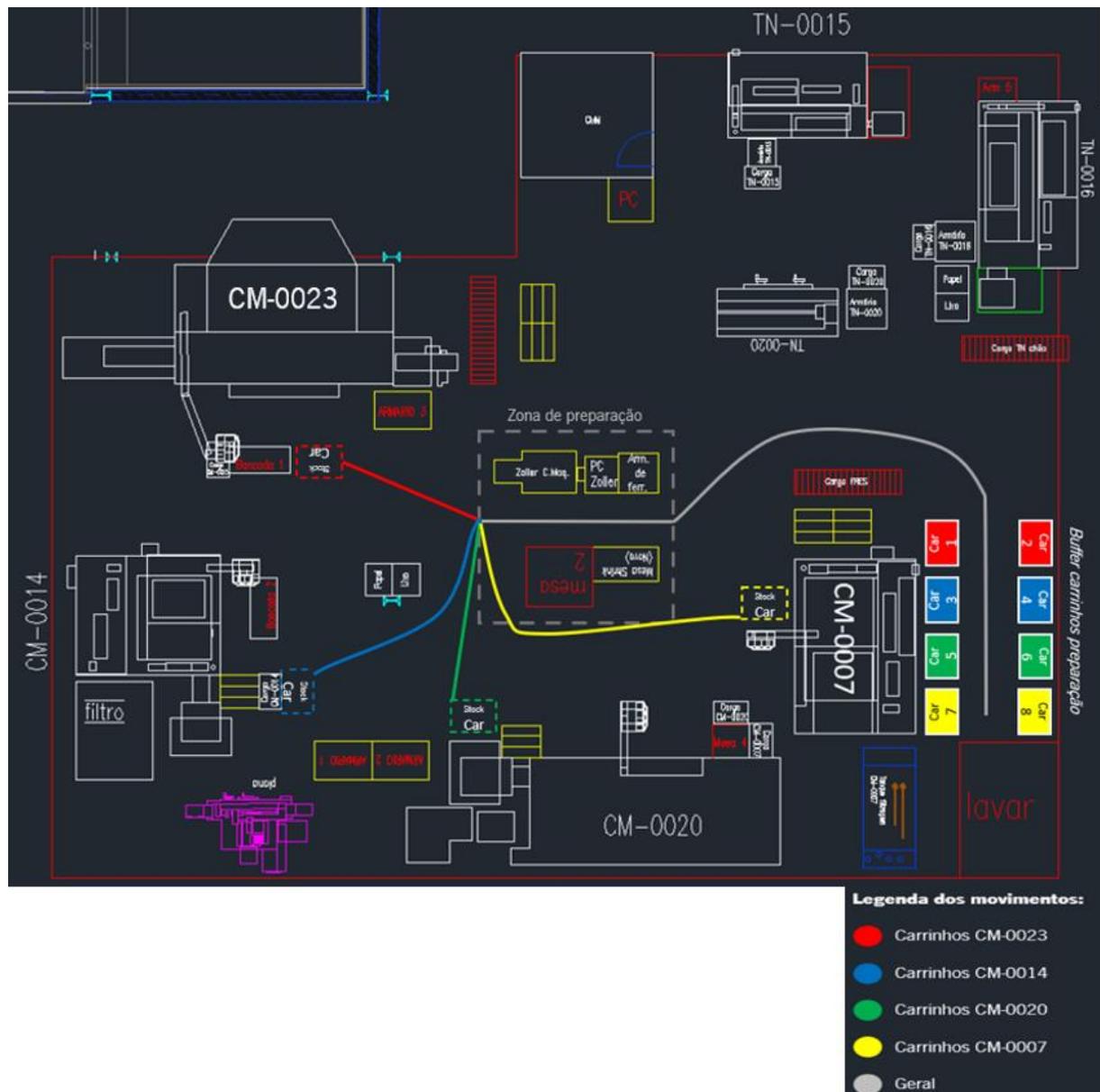


Figura 79. Movimentações dos carrinhos de abastecimento.

Programa para o preparador

Depois de definido o preparador, os carrinhos e as suas rotas, era também importante definir o método que o *pre-setting* de ferramentas deveria seguir.

Assim, foi definido que começaria a ser utilizado apenas um programa, que serviria para os operadores de Programação, para o capitão de equipa e para o preparador, que, inicialmente, passará por ser também o capitão de equipa.

Este programa contemplará, inicialmente, o ficheiro utilizado até ao momento, demonstrado na Figura 80, com todas as OF criadas pelo Desenho, que são WIP do Centro de Maquinagem. Com base nesse ficheiro, o operador de Programação verificará quais são as encomendas com data de entrega mais próxima e também verificará o tipo de encomenda, e fará os programas de acordo com o prazo de entrega das encomendas, priorizando as encomendas urgentes.

DATA ENTR.	OF	REF.	CAIXA	CLIENTE	PRIORIDADE	STOP	MADINHAS	MATERIAL	PLANEADO	CHECA	POS-TEXT	QTD	VALOR
07/07/2022	0000230499	SP590	2499	EUROCAST AVEIRO S.A.	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	REF. YR940.0110 // VER BOLETIM	2	0,00 €
15/07/2022	0000235672	E948.0042	2198	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	NORMAL	▲	CM011	AC050 - IMPAX	ATRIBUIR	●	MONTAR LINHAS 2, 3, 4 E 14 OPO000232325 DIVIDIDA (3+1)	3	6.491,03 €
15/07/2022	0000235854	E948.0298	1586	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	OPO000233058 ORIGINAL DIVIDIDA (3+1) MONTAR LINHAS 6, 7, 8, 9 E 10	3	6.281,28 €
17/07/2022	0000238593	E980.4459	1946	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	URGENTE	▲	CM020	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR CONJUNTO	3	1.579,57 €
05/08/2022	0000243939	E940.0176	2723	EUROCAST AVEIRO S.A.	NORMAL	▲	CM020	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR EM CONJUNTO E940.0177	1	1.855,90 €
31/08/2022	0000243178	YR931.0476	2663	CEMETAL S.L.	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR COM LINHA 2 DA MESMA ENCOMENDA	1	187,21 €
09/09/2022	0000243175	YR931.0486	2810	CEMETAL S.L.	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR EM CONJUNTO COM LINHA 2 DA MESMA ENCOMENDA	1	187,21 €
12/09/2022	0000244660	E931.9552	1977	FAGOR EDERLAN S.COOP.	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	MONTAR LINHAS 1 + 2 + 4 DESTE PEDIDO CONJUNTO E931.9555	8	3.516,64 €
16/09/2022	0000245527	TAF.5377	1527	FERRARL	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	ENTREGAR NOS CENTROS MAQUINAGEM (FRANCO)	1	0,00 €
16/09/2022	0000246099	TAF.5378	1565	STOCK	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
16/09/2022	0000246100	TAF.5379	1840	STOCK	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
19/09/2022	0000244867	E991.10783	1690	MARTINEA HONSEL MEXICO S.A. DE C.V.	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	3	5.117,22 €
19/09/2022	0000244868	E991.10784	1944	MARTINEA HONSEL MEXICO S.A. DE C.V.	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	3	5.117,22 €
23/09/2022	0000245525	E930.2860	2877	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	URGENTE	▲	-	-	ATRIBUIR	●	ASSEMBLE LINES 19+20+21+22 - KIT E948.0057	2	0,00 €
23/09/2022	0000245004	E991.10637	1683	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	URGENTE	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR EM CONJUNTO COM LINHA 15 DA MESMA ENCOMENDA	2	1.921,84 €
26/09/2022	0000244812	E931.9549	1596	HANON	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR COM OF 0000244811 MONTAR CONJUNTO E931.9550	1	697,21 €
26/09/2022	0000243309	E991.31175	1542	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011 CM020	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	6	2.517,54 €
26/09/2022	0000246464	E990.4364	1894	KROMI LOGISTIK AG	NORMAL	▲	CM014	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	10	230,90 €
28/09/2022	0000245554	E923.0302	1521	ZF AUTOMOTIVE UK LIMITED	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	2	1.907,74 €
30/09/2022	0000247288	TAF.5370	1786	220802	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
30/09/2022	0000247289	TAF.5371	1895	220802	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
30/09/2022	0000247290	TAF.5372	1717	220802	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
30/09/2022	0000247291	TAF.5373	1543	220802	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
30/09/2022	0000247292	TAF.5374	2161	220802	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	-	1	0,00 €
30/09/2022	0000245687	E930.2854	2171	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	FORNECER SEM PASTILHAS	6	1.426,44 €
30/09/2022	0000247773	E975.0027	1588	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR LINHA 15.16.17 -KIT E975.0029	1	497,19 €
30/09/2022	0000247771	E975.0026	2823	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR LINHA 12.13.14 -KIT E975.0028	1	473,52 €
30/09/2022	0000243796	E991.10693	1558	FMT Tooling Systems Sp. z o.o.	NORMAL	▲	CM020	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTA COM A OF 0000243797 -E993.15665	2	2.988,78 €
03/10/2022	0000243243	E944.1136	1485	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR CONJUNTO E944.1142	3	2.580,39 €
03/10/2022	0000243242	E944.1135	1555	FMT-Fresate Metal Tooling GmbH	NORMAL	▲	CM011	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	MONTAR CONJUNTO E944.1142 - MONTAR COM PASTILHAS DO CLIENTE X 9791.0148.2	3	3.276,42 €
03/10/2022	0000246213	E931.9356	1641	FMT TOOLING SYSTEMS S. DE RL DE CV	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	- MONTAR LINHA 1.2 E 3 + 1 KIT E931.1498	1	1.080,04 €
03/10/2022	0000246214	E976.1314	1620	FMT TOOLING SYSTEMS S. DE RL DE CV	NORMAL	▲	-	-	ATRIBUIR	●	- MONTAR LINHA 1.2 E 3 + 1 KIT E931.1498	3	548,43 €
03/10/2022	0000247366	YR990.5454	2406	S.P.M. SRL	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	NORMAL NECESSÁRIO REPARAR CONFORME ALTERAÇÕES 3D	1	537,00 €
04/10/2022	0000245700	E930.2797	1762	HANON SYSTEMS PORTUGAL S.A.	NORMAL	▲	CM011	AC001 - 40M1M10	ATRIBUIR	●	-	7	3.903,90 €
04/10/2022	0000245701	E980.0158	1961	HANON SYSTEMS PORTUGAL S.A.	NORMAL	▲	CM011 CM014	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	56	0,00 €
04/10/2022	0000245702	E980.4480	1574	HANON SYSTEMS PORTUGAL S.A.	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	-	7	0,00 €
04/10/2022	0000245536	YR990.2463	2652	FAGOR EDERLAN S.COOP	NORMAL	▲	CM009	AC002 - 42C1M04	ATRIBUIR	●	NORMAL NECESSÁRIO COLOCAR SOLDA	1	521,85 €

Figura 80. Ficheiro que contém os dados das encomendas em buffer no CM.

Além disso, deverá ser criado uma macro, pelo Dpt de Informática, em que, após ser criado o programa para determinada OF, automaticamente é gerado um documento, em formato PDF, contendo todas as ferramentas de maquinação necessárias para aquele programa, documento esse, que ficará associado à OF em questão, no ficheiro do programador.

No fim de fazer cada programa, o programador deve validá-los.

Esse ficheiro utilizado pelo programador estará disponível, em simultâneo, para o CE da Fresagem que definirá, tal como fazia inicialmente, as encomendas a entrarem no PT nesse dia de trabalho, tendo em conta apenas os programas já validados. Além disso, o ficheiro de planeamento contemplará o programa abordado no Capítulo 6.4.5, para que seja criada a folha de planeamento para o dia, por máquina, já demonstrada, onde a coluna “Programação” anteriormente mencionada ficará preenchida com o documento que contém todas as ferramentas de maquinação associadas a cada OF.

Essa folha será o *input* para, depois, o preparador definir a ordem pela qual prepara as ferramentas para as máquinas, ao verificar o tempo de entrada em máquina de cada OF. E, como o ficheiro de planeamento também terá as ferramentas de maquinação necessárias e as características destas para cada OF, colocadas anteriormente pelo operador de Programação, na conceção do programa, o preparador terá acesso a essas informações para realizar o *pre-setting*.

Para descrever este processo de uma forma mais visual, foi elaborado o BPMN presente na Figura 103, no Apêndice XII – BPMN do processo inerente ao *pre-setting*.

6.4.7 Melhorias não implementadas na Fresagem

À semelhança do que aconteceu no Torneamento, também algumas melhorias não foram implementadas na Fresagem, não porque não foram aprovadas pelo Diretor de Operações, mas sim, porque não se conseguiram implementar até ao fim da presente dissertação, sendo previstas implementar, em breve, na empresa.

Ferramentas de maquinação indicadas pelo seu nome

Depois de se implementar a base de dados com posições e velocidades de maquinação *standard* em cada máquina, verificou-se que, mesmo assim, os operadores continuavam a corrigir vários aspetos nos programas, e com cabeçalhos demorados. Isto, porque, por exemplo, as posições “não *standard*”, ou seja, as posições na torreta em que as ferramentas são trocadas regularmente, continuavam com a necessidade de ser alteradas nos programas.

De forma a diminuir ou eliminar, então, esse tempo de correção dos programas, foram exploradas as funcionalidades dos processadores das máquinas, e verificou-se que seria possível, ao invés de serem chamadas as ferramentas pela posição, serem chamadas por uma designação.

Para tal, o programador tem de as definir, nos programas, com uma designação, e os operadores de Fresagem devem defini-las, nas máquinas, com a mesma designação, quando as colocam na torreta.

Assim, quando o programa chega às máquinas, com as designações das ferramentas, à medida que ele é executado, automaticamente o processador vai lendo os nomes das ferramentas de maquinação no programa, e procurando o mesmo nome nas ferramentas na torreta da máquina. Encontrando-o, a ferramenta é utilizada, sem ser necessário indicar a sua posição; caso não encontre aquele nome, na lista de ferramentas colocadas na máquina e definida pelos operadores, o processador indica ao operador que aquela ferramenta de maquinação não está na torreta da máquina.

Como é possível perceber, isto é muito benéfico para a troca de ferramentas de maquinação, pois os operadores deixariam de se preocupar com as posições das ferramentas, podendo elas estarem em qualquer posição, pois o importante seria o seu nome.

Contudo, havia um problema que poderia emergir com a aplicação deste método. Este problema seria a designação de cada ferramenta de maquinação, uma vez que, caso o programador definisse uma designação para uma ferramenta, e os operadores da Fresagem definissem outra designação, para a mesma ferramenta, o processador não assumiria que a ferramenta estava na máquina.

Para evitar esse problema, criou-se uma designação padrão para as várias ferramentas. Assim, recorreu-se à referência direta com significado para criar as designações para as várias ferramentas.

Começou-se por recolher, então, os vários campos necessários para identificar apenas uma ferramenta de maquinação: nome da ferramenta, diâmetro, comprimento, material e tipo de aperto.

Depois, definiram-se os vários parâmetros para cada campo e o código associado a cada um desses parâmetros, como os exemplos apresentados na Figura 81.

Nome da ferramenta	Código	Diâmetro	Código	Aperto	Código
Ball nose	BNS	5 mm	D05	Porta-piças de 16 mm	ER16
Broca	BRO	15 mm	D15	Porta-piças de 32 mm	ER32
Mandril	MAN	30 mm	D30	Térmico	TERM
Fresa de topo reto	FTR	32 mm	D32	Weldon	WELD
...	Tribo	TRIB
...

Comprimento	Código	Material	Código
40 mm	C40	Aço rápido	HSS
45 mm	C45	Metal duro	HM.
...

Figura 81. Códigos para cada campo das designações das ferramentas de maquinação.

Com base nesses campos e respetivos códigos, definiu-se a estrutura base para a designação de cada ferramenta, como demonstra a Figura 82.

Nome	Diâmetro	Comprimento	Material	Aperto
------	----------	-------------	----------	--------

Figura 82. Estrutura para designação de ferramentas de maquinação.

Tendo em conta o exemplo da Figura 83, verificamos que o código “BNSD03C030HM.TERM” designa a fresa *ball nose*, com diâmetro de 3 milímetros, comprimento de 30 milímetros, com corpo em metal duro e colocada num aperto térmico.

B	N	S	D	0	3	C	0	3	0	H	M	.	T	E	R	M
Nome			Diâmetro			Comprimento				Material			Aperto			

Figura 83. Exemplo de designação de ferramenta de maquinação.

Além dos ganhos que se obterão em termos de correção dos programas e pausas para cabeçalhos, existe também um ganho associado ao sistema de *pre-setting*, uma vez que o preparador, verificando apenas o nome da ferramenta de maquinação, conseguirá prepará-la adequadamente, pois tem todas as características de que necessita. Ou seja, aquele documento que contém os dados acerca das ferramentas de maquinação utilizadas para cada OF, será muito mais fácil de gerar, pois só precisará das várias designações das ferramentas de maquinação de cada programa, estando os dados sobre essas ferramentas diretamente incluídos nessas designações.

Formação dos operadores de Programação, nas máquinas de Fresagem

Outra melhoria não implementada, até ao final da dissertação, foi a formação aos operadores de Programação. Isto, pois estes operadores estavam com um elevado tempo de criação de cada programa, levando a que, caso pausassem essa criação, as máquinas de Fresagem pudessem parar por falta de programas. Assim, esta formação teve de ser adiada, para um período em que grande parte das macros de programação estivessem implementadas, e o tempo dessa programação tivesse reduzido substancialmente, ou seja, tivesse aumentado consideravelmente o tempo entre a conceção de um programa e o momento em que o mesmo é utilizado.

6.5 Dashboard para análise da disponibilidade

Tal como já indicado no Capítulo 3.2.6. Medidas de desempenho monitorizadas pela empresa, um dos principais indicadores medidos pela empresa é a percentagem de NC, onde, de forma direta, se consegue calcular o parâmetro “Qualidade” do OEE. Contudo, até ao início do projeto, este indicador não era monitorizado, uma vez que não se calculavam os parâmetros do OEE disponibilidade e velocidade.

Assim, foi criado um *dashboard* para se começar a avaliar a disponibilidade das máquinas do Centro de Maquinagem. Em relação à “Velocidade”, este parâmetro é de difícil obtenção, não se calculando.

Com base na disponibilidade e na qualidade, passou-se a calcular o OEE parcial, para o CM.

Importa referir, então, como funciona o *dashboard* de análise de disponibilidade, e de outros indicadores. Basicamente, os operadores começaram a recolher o tempo de maquinação total da(s) máquina(s) onde operam, no início do turno e no fim do turno. A juntar a isso, indicam ainda tempos associados a eventuais paragens de máquinas, como, por exemplo, o tempo que a máquina esteve parada em cada dia por falta de material para maquinação, ou o tempo que a máquina esteve parada para manutenção. Esses dados são então inseridos manualmente num documento, onde depois é possível analisar vários aspetos:

- Disponibilidade das máquinas;
- Principais problemas para paragens de máquinas, sendo que, se se verificar que um problema está a ser recorrente, este deve ser analisado, para se atuar na sua causa-raiz;
- Evolução do tempo de maquinação ao longo das semanas, para se comparar semanas em que se fez um único turno central, e semanas com turnos desfasados entre operadores, e verificar-se em que casos as horas de maquinação foram superiores;

- Na Fresagem, em especial, tem outro indicador que é o tempo de maquinação médio após término de turno, para verificar, por exemplo, se este subirá com o novo método para rentabilizar esse tempo.

O *dashboard* está expresso na Figura 84. Depois, existe um conjunto de filtros que podem ser aplicados, para verificar, por exemplo, se existe algum dia da semana em que a disponibilidade é menor, podendo, posteriormente, analisar-se o motivo para tal.

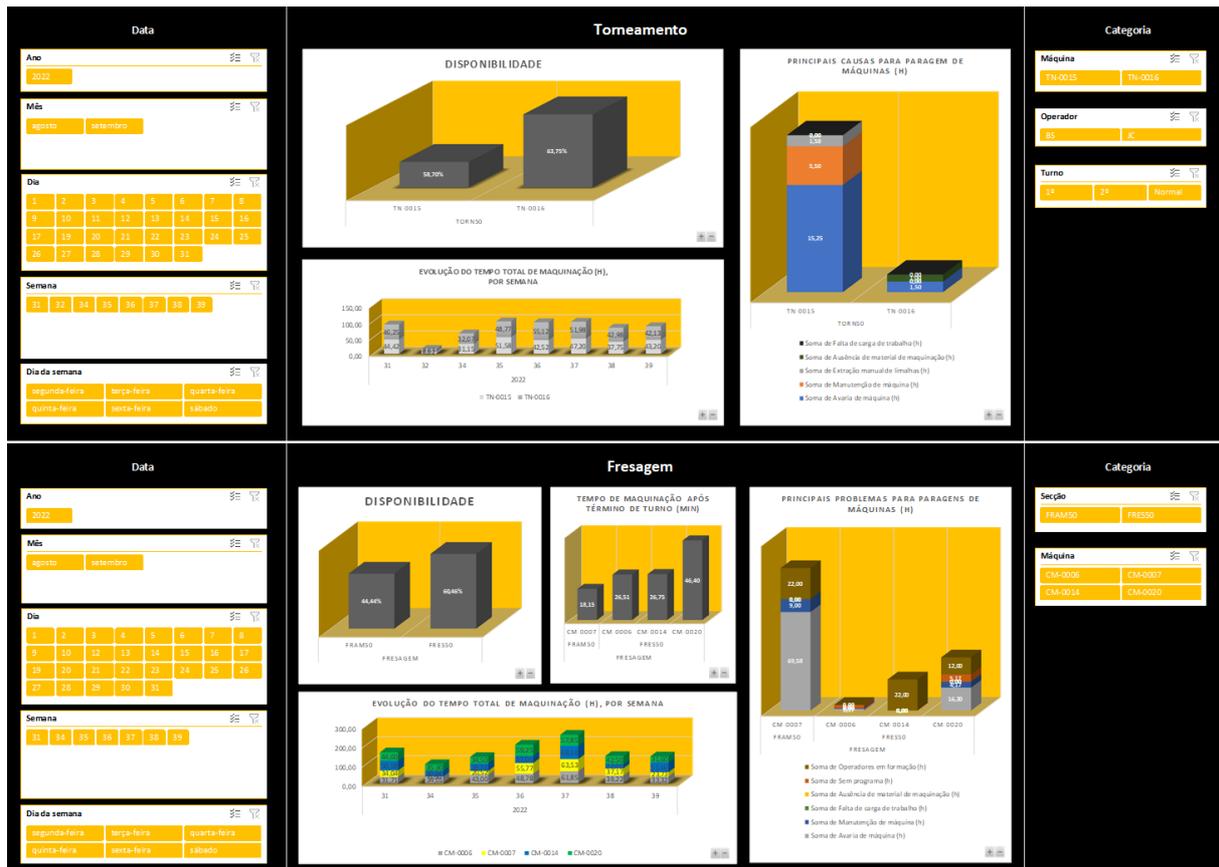


Figura 84. Dashboard para análise da disponibilidade no CM.

Depois de criado o *dashboard*, foi também definido um procedimento operacional, para que qualquer pessoa pudesse ter a facilidade de inserir os dados relativos a cada dia, no *dashboard*, estando esse procedimento presente na Figura 101, no Apêndice X – LS e procedimentos operacionais criados ao longo do projeto.

Assim, este *dashboard* ficou a ser utilizado para analisar a disponibilidade do CM, e foi também generalizado para os restantes centros produtivos da FMT.

7. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS MELHORIAS

Depois de descritas todas estas melhorias, é importante estimar e verificar os ganhos obtidos com elas, sendo esses ganhos calculados em termos de tempo de ciclo, tempo de *setup*, OEE parcial, *output* médio diário e produtividade.

Para verificar esses ganhos, foram definidos três períodos distintos:

- Início do projeto, ou seja, o estado do CM, e respetivos indicadores, quando se realizou o diagnóstico, e ainda sem se terem implementado melhorias;
- Fim da dissertação, isto é, o momento em que foi concluída esta dissertação, estando já várias melhorias implementadas;
- Fim do projeto, ou seja, apesar de a dissertação ficar concluída, e as melhorias sugeridas não serem todas implementadas, estas melhorias ficaram previstas de implementar, mesmo após o término da dissertação, e, só quando elas estiverem implementadas, se poderá considerar que o projeto, cujo objetivo era aumentar a produtividade do centro, terminou.

7.1 Resultados obtidos com cada melhoria, no Torneamento

Tendo em conta todas as melhorias que se implementaram no Torneamento, torna-se importante verificar os ganhos que se obtiveram com aquelas em que é possível verificar tal impacto. Para as melhorias com impacto no tempo de *setup*, teve-se em consideração essencialmente o gráfico de análise de processo do Torneamento, expresso no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento. Importa referir que, se estas melhorias foram a nível de tempos de *setup*, foram medidos os novos tempos das etapas que sofreram melhorias, de forma a obter-se um valor significativo.

7.1.1 Alteração da estratégia de maquinação

Para se verificar o novo tempo de ciclo do Torneamento, depois de implementada a nova estratégia de maquinação, foram avaliados os mesmos programas que se avaliaram para calcular o TC médio do Torneamento, para ferramentas E991, e verificada a diminuição desse tempo em cada uma dessas ferramentas, com a nova estratégia de maquinação, obtendo-se os dados presentes na Tabela 48, no Apêndice XIII – Ganhos obtidos, no TC do Torneamento, com a alteração da estratégia de maquinação. Assim, a diminuição do TC foi, em média 4.91 minutos, por ferramenta, o que representa um ganho percentual de tempo de 12.27%.

De notar que, apesar de só terem sido avaliados os programas de ferramentas da família E991, esta alteração da estratégia de maquinação traz benefícios para a maioria das famílias, pois essa maioria contempla ferramentas com grande diâmetro inicial, e pequeno diâmetro final.

7.1.2 SMED

Quanto às melhorias relacionadas com a implementação de SMED, verificaram-se os ganhos obtidos em termos de *setup*, medindo-se novamente os tempos das operações afetadas, ou estimaram-se esses ganhos, principalmente para melhorias que ainda não tinham sido implementadas. E, além das melhorias da aplicação de SMED, existem ainda outras, que, não estando totalmente ligadas à implementação deste, também resultaram em ganhos no tempo de *setup*, como, por exemplo, a LS criada para o Dpt de Desenho, que fez com que o tempo de verificação inicial de dados do desenho, que se repete em todas as OF, fosse diminuído.

Na Tabela 22, é possível verificar a diminuição do tempo de *setup*, por OF, para cada melhoria implementada. A análise é feita para uma OF de 3 ferramentas, tal como já tinha sido definido na concretização do GAP de Torneamento.

Importa referir que as diferenças de tempo, na análise dos ganhos, se relacionam com o facto de serem apresentados os valores apenas com duas casas decimais, apesar de, nos cálculos, serem utilizados valores completos. No caso da reformulação do envio de cotas, por exemplo, o valor inicial da verificação de dados do desenho é de 1.17 minutos, e o final de 0.53 minutos, o que resulta numa diferença, segundo a tabela, de 0.63 minutos. Contudo, esta diferença seria, obviamente, de 0.64 minutos, se fosse calculada com estes valores. Acontece que os valores de tempo, que aparecem na tabela com duas casas decimais, na verdade, foram usados, nos cálculos, com todas as suas casas decimais. No mesmo exemplo, 1.17 minutos, na verdade, é 1.166(6) minutos e 0.53 minutos é 0.533(3) minutos, o que dá uma diferença entre estes dois valores de 0.633(3), ou seja, o valor arredondado 0.63 que surge na Tabela 22. Isto, para explicar que poderão surgir valores, em tabelas, em que a parte decimal poderá parecer incoerente, ao longo da análise de resultados, mas, na verdade, não o é, e deve-se apenas ao facto de, nas tabelas, colocarem-se sempre os valores com duas casas decimais, para simplificar a leitura destas, quando, na verdade, foram sempre usados os valores por inteiro, para os cálculos.

Em suma, com melhorias implementadas, e tal como se pode verificar no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento, o tempo de *setup* associado a uma OF de 3 ferramentas da família E991 diminuiu de 62.07 minutos para 55.38 minutos, o que representa uma diminuição do tempo de *setup* médio, por ferramenta, de 20.68 minutos para 18.47 minutos. Com as melhorias que ainda não

tinham sido aplicadas, no final da presente dissertação, esperava-se que o tempo de *setup* médio, por OF, fosse de 44.37 minutos, ou seja, 14.78 minutos, por ferramenta.

Tabela 22. Análise à diminuição do tempo de *setup*, por OF, com as melhorias implementadas e futuras do Torneamento.

Melhorias implementadas				
Melhoria	Etapa de <i>setup</i>	Tempo, no início do projeto (min)	Tempo, no final da dissertação (min)	Diminuição do tempo de <i>setup</i>, por OF (min)
Mecanismo de limpeza dos apertos das máquinas	Limpar parte de trás da ferramenta, e aperto	5,77	3,17	2,60
Reformulação do envio de cotas, por parte do Dpt de Desenho	Verificação de dados do desenho	1,17	0,53	0,63
Correção de programa, no PC	Chamar operações, no programa	2,53	1,40	1,13
Conceção e correção de macros para programação	Fazer programa, e enviá-lo para a máquina	5,98	4,07	1,92
Organização das gavetas das brocas e das pinças	Procurar broca e pinça	0,38	0,07	0,32
	Confirmar diâmetro da broca, com paquímetro	0,08	0	0,08
Melhorias futuras				
Melhoria	Etapa de <i>setup</i>	Tempo, no final da dissertação (min)	Tempo, no final do projeto (min)	Diminuição do tempo de <i>setup</i>, por OF (min)
Substituição da máquina TN-0015	Troca de aperto (grupo de etapas)	11,40	7,20	4,20
Programação de Torneamento no Dpt de Programação	Programação (grupo de etapas)	6,82	0	6,82

7.2 Impacto estimado, nos indicadores-chave de desempenho do Torneamento

Depois de se verificar os ganhos estimados em termos de tempo de ciclo e de tempo de *setup*, com a nova estratégia de maquinação e com a aplicação de SMED, torna-se importante verificar os ganhos estimados para os principais indicadores do centro: disponibilidade, *output* diário e produtividade. Apenas se verificam os ganhos em termos de disponibilidade, e não em termos de OEE parcial, uma vez que não se atuou no parâmetro “Qualidade”, e, por isso, é de estimar que este não sofra grandes alterações.

Posto isto, torna-se importante explicar o método utilizado para estimar o ganho em cada indicador, com base nas melhorias implementadas.

Antes de mais, importa referir que todos os tempos estimados de ganhos com melhorias provêm do gráfico de análise de processo da família E991, e não de todas as famílias. Ainda assim, isso não aparenta ter muito impacto nas estimativas, uma vez que a maioria das operações realizadas para a família E991 são também realizadas para as restantes famílias, e, na maioria dos casos, com tempos semelhantes.

Para desenvolver cada uma das estimativas, teve-se em conta os dados recolhidos na Tabela 43 e na Figura 35. Ou seja, verificou-se o impacto que cada um dos problemas tinha na disponibilidade, conforme a Equação 18.

$$\text{Perda de disponibilidade (i)} = (1 - \text{Disponibilidade}) \times \% \text{ Tempo de paragem (i)},$$

i = Problema para a paragem de máquinas

Equação 18. Perda de disponibilidade, por problema para paragem de máquinas.

Assim, a perda de disponibilidade por determinado problema assume-se como a multiplicação do tempo que as máquinas não produziram, pela percentagem que esse problema influenciou esse tempo.

Explicando, através de um exemplo, o problema “*setup*”, na análise realizada, era responsável por 46.2048% do tempo de paragem de máquinas. Ou seja, tendo em conta a disponibilidade média do TORN50 de 51.92%, que revela 48.08% de tempo de paragem, 46.2048% desses 48.08%, isto é, 22.22% do tempo de paragem, ou da “não disponibilidade”, são da responsabilidade do problema *setup*.

Depois, porque em muitas melhorias também era importante verificar qual a etapa de *setup* que iria diminuir, e qual a influência na disponibilidade, verificou-se a Figura 35. Distribuição do *setup*, que origina paragens das máquinas de Torneamento. Assim, com base na perda de disponibilidade associada a *setup* (22.22%), para verificar a perda de disponibilidade associada a cada uma dessas etapas de *setup*, bastou apenas multiplicar a percentagem de impacto que cada etapa teve na paragem de máquinas, dentro do *setup*, pela perda de disponibilidade associada a este.

Explicando novamente com um exemplo, 4.85% do *setup* que levou a paragem de máquinas, na análise realizada, deveu-se à etapa de preencher a *checklist*. Assim, 4.85% do tempo de paragem, ou da “não disponibilidade”, devido a *setup*, ou seja, 4.85% de 22.22%, isto é, 1.08% do tempo de paragem das máquinas, devia-se à etapa de *setup* de preencher a *checklist*. Assumindo que, por exemplo, havia uma melhoria que iria eliminar essa etapa do *setup*, o ganho de disponibilidade estimado seria de 1.08% face à disponibilidade no início do projeto, que era de 51.92%.

Contudo, não se discriminaram algumas etapas de *setup*, no diagnóstico. Por exemplo, a operação “Troca de ferramenta (diferente OF)”, verificada na Figura 35 como 10.88% do *setup* que leva a paragem das máquinas, ou seja, diminuindo 2.42% à disponibilidade, engloba diversas etapas do *setup* analisado

no Apêndice III – Gráfico de análise de processo do Torneamento: “retirar ferramenta de maquinação e pinça, da máquina, e limpá-las”, “levar ferramenta de maquinação e pinça para o armário”, “colocar ferramentas nas respectivas caixas, dentro da caixa da OF”, “transportar ferramenta para a carga da TN-0020”, “colocar caixa na carga da TN-0020”, “verificar dados do desenho”, “retirar ferramentas da caixa” e “limpar ferramentas”. Este conjunto de operações tinha um tempo conjunto de 5 minutos e 12 segundos, ou seja, 5.2 minutos. Sendo assim, para se verificar o impacto de uma diminuição do tempo de apenas uma destas etapas, aplicou-se, mais uma vez, um rácio.

Exemplificando, a reformulação do envio de cotas, pelo Desenho, fez com que o tempo de verificar dados do desenho passasse de 1.17 minutos para 0.53 minutos, tal como demonstra a Tabela 22. Sendo assim, como esse tempo está incluído no grupo de etapas “Troca de ferramenta (diferente OF)”, é possível estimar o aumento da disponibilidade com esta melhoria, de acordo com a Equação 19.

$$\text{Ganho de Disp} = \text{Perda de Disp}_i - \frac{\text{Novo tempo}_i \times \text{Perda de Disp}_i}{\text{Tempo antigo}_i},$$

i = Grupo de operações da operação que se melhorou

Equação 19. Ganho estimado de disponibilidade, com melhoria numa operação pertencente a um grupo de operações.

Continuando com o exemplo da reformulação de cotas, para explicar a Equação 19, verificou-se que a diminuição do tempo de verificar dados do desenho foi de 0.63 minutos. E, como essa operação está incluída no grupo de operações “Troca de ferramenta (diferente OF)”, e mais nenhuma das operações deste grupo foi alterada com esta melhoria, a diminuição do tempo deste grupo de operações será igual à diminuição do tempo de verificar dados do desenho, isto é, 0.63 minutos. Ou seja, o tempo deste grupo de operações passou de 5.20 minutos para 4.57 minutos. Sendo assim, este grupo de operações, que, de acordo com a análise de diagnóstico, era responsável pela perda de 2.42% de disponibilidade, quando tinha um tempo médio de 5.20 minutos, passará, de forma estimada, a ser responsável pela perda de 2.13% da disponibilidade apenas, com o novo tempo de 4.57 minutos. Ou seja, o ganho de disponibilidade obtido é a diferença entre a disponibilidade perdida com este grupo de operações, no início do projeto – 2.42% - e a disponibilidade perdida estimada, depois da melhoria implementada – 2.13% -, ou seja, 0.29%.

Foi com base nestes cálculos que se obteve o ganho estimado, em termos de disponibilidade, das melhorias que influenciaram o tempo de *setup*. Contudo, houve melhorias que não foram para melhorar o tempo de *setup*, mas para eliminar ou diminuir outros problemas que levassem a paragem de máquinas. Assim, foi necessário estimar o ganho para essas melhorias, também.

A abordagem utilizada foi a seguinte: verificar a perda de disponibilidade afeta a cada um dos problemas e estimar quanto se deveria poupar com a melhoria implementada para a diminuição destes.

Novamente com o exemplo da reformulação do envio de cotas, foi possível verificar que os problemas com o Dpt de Desenho, identificados, na análise de diagnóstico, como um dos fatores que levava a paragem de máquinas, tinham um impacto na disponibilidade de 0.24%. Assim, com a LS criada, no Dpt de Desenho, para evitar este problema, é de esperar que esse problema seja eliminado, ou seja, reduza 100%. Sendo assim, se esse problema é eliminado, e a perda de disponibilidade por causa dele era de 0.24%, é de estimar que a disponibilidade aumente os mesmos 0.24%, com esta melhoria. Ou seja, o ganho de disponibilidade de uma melhoria para um dos problemas encontrados resulta da multiplicação da perda de disponibilidade associada a esse problema – 0.24%, no caso anterior -, pela percentagem estimada de eliminação desse tempo – 100%, no caso anterior -, tal como demonstra a Equação 20.

$$\text{Ganho de Disp} = \text{Perda de Disp}_i \times \text{Percentagem de tempo eliminada}_i ,$$

i = problema para paragem de máquinas

Equação 20. Ganho estimado de disponibilidade, consoante percentagem de eliminação de problema.

Com base nestas assunções, obteve-se o valor estimado de ganho de disponibilidade, por melhoria. E, para obter os valores estimados dos restantes indicadores, aplicaram-se regras de três simples. Exemplificando, com a melhoria da organização do “tapete” de carga, estimou-se, com base nas fórmulas de cálculo anteriores, que o aumento da disponibilidade seria de 0.29% com esta melhoria. Verificou-se que o *output* médio diário, em termos monetários, era, no início do projeto, 14131.06€, quando a disponibilidade média apresentava o valor de 51.92%. Assim, se 51.92% de disponibilidade era responsável pela produção diária de 14131.06€, 0.29% do aumento dessa disponibilidade levaria a um aumento de cerca de 78€ do *output* médio diário. A fórmula usada foi a mesma, tanto para o *output* monetário, como em quantidade, e está expressa na Equação 21.

Aumento do output diário(i)

$$= \frac{\text{Ganho de Disp}(i) \times \text{Output diário, no início do projeto}}{\text{Disp, no início do projeto}},$$

i = Melhoria implementada

Equação 21. Estimativa do aumento dos indicadores de output, por melhoria implementada, com base no ganho de disponibilidade.

Por fim, havia uma melhoria na qual não era possível estimar os ganhos, com base nas fórmulas referidas anteriormente: a alteração da estratégia de maquinação. Isto, porque os ganhos com essa melhoria eram relativos ao tempo de ciclo e não ao tempo de *setup*.

Assim, adotou-se outro método para o cálculo dos ganhos, em termos de *output* diário, para essa melhoria.

Posto isto, verificou-se que o *output* médio diário, em termos de quantidade, no início do projeto, era de 27.19 ferramentas, sendo que o tempo de ciclo médio de uma ferramenta era de 40.05 minutos. Ou seja, a multiplicação destes dois valores informa o tempo médio gasto em maquinação de ferramentas, por dia, no início do projeto, que é de 1088.9595 minutos, de forma exata.

Uma vez que o novo tempo de ciclo, com a alteração da estratégia de maquinação, é de 35.14 minutos, é possível calcular quantas ferramentas se farão, teoricamente, por dia, ao dividir o tempo de maquinação de ferramentas, no início do projeto – 1088.9595 minutos -, pelo novo tempo de ciclo – 35.14 minutos. Com este cálculo, obtém-se o valor de 30.98917 ferramentas, ou seja, mais 3.79917 ferramentas por dia. E, se 27.19 ferramentas geravam 14131.06€, por dia, mais 3.79917 ferramentas gerarão, de forma estimada, mais 1974.49€ por dia, sendo estes os aumentos de *outputs* diários estimados com a nova estratégia de maquinação.

Assim, os ganhos estimados, para cada melhoria, nos indicadores do TORN50, e os valores utilizados para o cálculo destes, podem ser encontrados no Apêndice XIV – Ganhos estimados nos indicadores do Torneamento, para cada melhoria.

De uma forma geral, a Tabela 23 descreve o ganho geral estimado em cada um dos principais KPI do centro. Quanto à disponibilidade, estimava-se que, no fim da dissertação, esta fosse de 59.42%, com um ganho percentual de 14.45%, em relação ao início do projeto; e, no futuro, com as melhorias ainda por implementar, venha a rondar o valor de 68.67%, o que representa um ganho percentual de 32.26% face ao início do projeto. Quanto ao *output* médio diário, era de estimar que este fosse de 18147.81€, no fim da dissertação e 20664.42€, no fim do projeto, o que representa ganhos percentuais, face ao início do projeto, de 28.42% e 46.23%, respetivamente.

Quanto ao tempo de *setup* médio, este teve uma diminuição percentual de 10.72% até ao fim da dissertação, e prevê-se que esta diminuição seja de 28.53%, no fim do projeto, face ao início. O tempo de ciclo diminuiu de 40.05 minutos para 35.14 minutos, desde o início do projeto, o que representa uma diminuição percentual de 12.26%. Por fim, estimava-se que a produtividade tivesse um aumento de 883.19 €/h.H para 1134.24€/h.H, até ao fim da dissertação, e que, no futuro, viesse a ser de 1291.53€/h.H.

Tabela 23. KPI estimados e respectivos ganhos percentuais, para o Torneamento.

Indicador	Início do projeto	Fim da dissertação		Fim do projeto	
	Valor	Valor	Variação percentual	Valor	Variação percentual
Disponibilidade (%)	51,92%	59,42%	+14,45%	68,67%	+32,26%
Output médio diário (Quantidade)	27,19	34,92	+28,42%	39,76	+46,23%
Output médio diário (Valor)	14 131,06 €	18 147,81 €	+28,42%	20 664,42 €	+46,23%
Tempo de <i>setup</i> (min)	20,68	18,47	-10,72%	14,78	-28,53%
Tempo de ciclo (min)	40,05	35,14	-12,26%	35,14	-12,26%
Produtividade (€/h.H)	883,19	1134,24	+28,42%	1291,53	+46,23%

7.3 Impacto obtido, nos indicadores-chave de desempenho do Torneamento

Para além dos KPI estimados, torna-se importante verificar os ganhos efetivamente obtidos.

7.3.1 Impacto obtido, no OEE parcial do Torneamento

Começou-se, então, por verificar os ganhos obtidos, até ao fim da dissertação, em termos de disponibilidade, qualidade, e na multiplicação desses dois valores, ou seja, no OEE parcial. Desta forma, verificaram-se esses valores, de forma geral, para o centro, uma vez que não há registo de não conformidades por máquina, mas apenas por centro, não sendo possível obter o fator “qualidade” por máquina. Sendo assim, os valores calculados são uma média dos meses de agosto e setembro, uma vez que o *dashboard*, para acompanhamento diário da disponibilidade, só tem dados relativos a estes meses.

Posto isto, a Tabela 24 expressa essa variação no OEE parcial, comparando os indicadores medidos no início do projeto, e no final da dissertação.

De forma geral, a disponibilidade média do centro aumentou de 51.92% para 62.71%, ou seja, teve um ganho percentual de 20.78%. Quanto à Qualidade, esta manteve valores ótimos, apresentando um ligeiro ganho percentual de 0.09%. Com isto, o OEE parcial subiu de 51.61% para 62.40%, ou seja, teve um ganho percentual de 20.89%.

Tabela 24. Variação real, nos parâmetros do OEE do Torneamento, no final da dissertação.

Disponibilidade					
Início do projeto		Final da dissertação		Variação percentual	
TN-0015	TN-0016	TN-0015	TN-0016	TN-0015	TN-0016
47,84%	56,00%	60,04%	65,38%	+25,50%	+16,75%
51,92%		62,71%		+20,78%	
Qualidade					
Início do projeto		Final da dissertação		Variação percentual	
99,41%		99,50%		+0,09%	
OEE parcial					
Início do projeto		Final da dissertação		Variação percentual	
51,61%		62,40%		+20,89%	

7.3.2 Impacto obtido, no *output* médio diário e na produtividade do Torneamento

Quanto aos outros indicadores controlados, verificou-se o evoluir do *output* médio diário ao longo dos meses do projeto, até ao final da dissertação, estando essa evolução expressa na Figura 85.

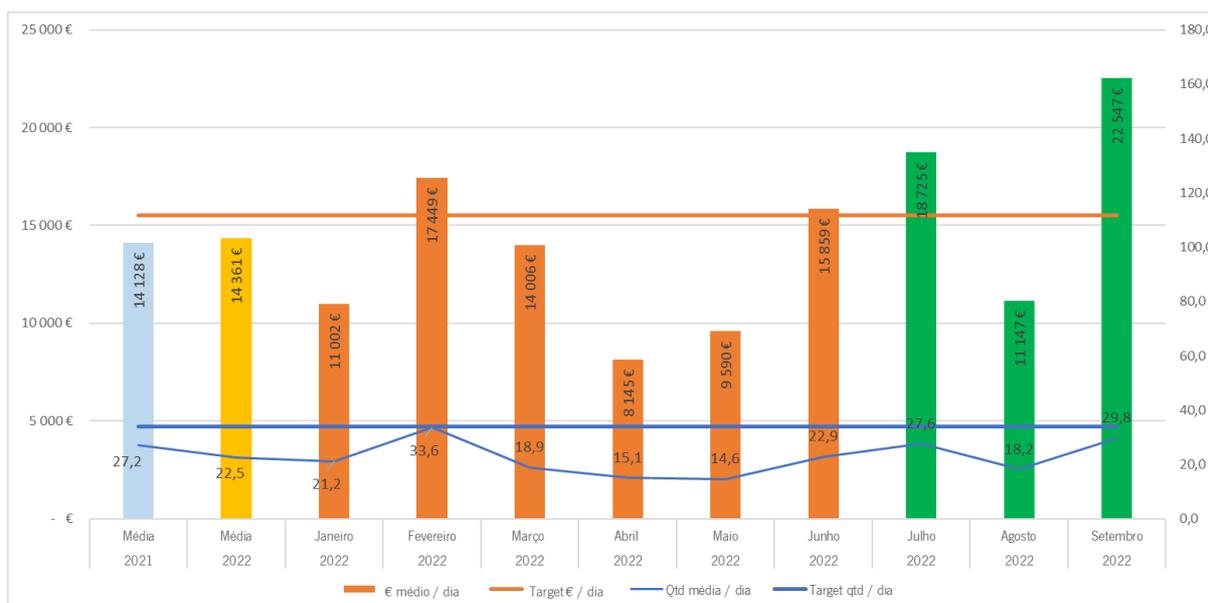


Figura 85. Evolução do *output* médio diário do Torneamento, até ao final da dissertação.

Como é possível observar, este indicador teve variações ao longo do projeto. De notar, por exemplo, que nos meses de abril e maio, devido a fatores externos, houve períodos sem carga de trabalho, o que é justificativo para ter havido um *output* relativamente baixo. Também o mês de agosto se pode apresentar como um mês atípico, uma vez que os operadores do CM tiveram férias desfasadas durante cerca de metade desse mês.

Sendo assim, e, como a maioria das melhorias foram implementadas nos meses de julho, agosto e setembro, tal como se pode verificar no plano de ações do Torneamento, foram estes 3 meses que foram

tidos em consideração para analisar o *output* médio diário, no final da dissertação. Agosto, apesar de ser um mês atípico, também foi tido em consideração, pois muitas das melhorias já estavam implementadas neste mês. Tendo em conta isto, estes meses estão representados a verde na Figura 85. Assim, o número de dias úteis totais desses três meses foi 53, e o *output* total de 1381 ferramentas, ou, em termos monetários, 966527.36€. Tendo em conta estes dados, o *output* médio diário, nestes três meses, foi de 26.06 ferramentas, em quantidade, ou 18236.37€, em termos monetários.

Na Tabela 25, é possível verificar a variação do *output* diário e da produtividade, entre o início do projeto e o final da presente dissertação.

Tabela 25. *Variação real, nos KPI do Torneamento, no final da dissertação.*

Output médio diário					
Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
27,19	14 131,06 €	26,06	18 236,37 €	-4,16%	+29,05%
Produtividade					
Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
883,19 €/h.H		1139,77 €/h.H		+29,05%	

De forma geral, o *output* médio diário monetário subiu de 14131.06€ para 18236.37€, representando um ganho percentual de 29.05%. E, como a produtividade está diretamente relacionada a este *output*, e o número de recursos se manteve, o ganho percentual neste indicador também foi de 29.05%, passando de 883.19€/h.H para 1139.77€/h.H. Assim, estima-se que o aumento anual do *output* neste centro, tendo por base o ano de 2021, que conteve 239 dias de trabalho, seja de 981169.09€.

Relativamente ao *output* médio diário, em termos de quantidade, este diminuiu de 27.19 ferramentas para 26.06, o que indica uma perda percentual de 4.16%. Contudo, esta diminuição não é crítica, sendo justificada pelo facto de se terem começado a aceitar encomendas de ferramentas cada vez mais complexas, ou seja, cujo tempo de ciclo é maior, mas também o valor monetário é maior, acabando por se fazerem menos diariamente. Ainda assim, tal como já tinha sido enunciado no Capítulo 4.3, e como é óbvio, o principal objetivo que se deve atingir é referente ao *output* em termos de valor monetário, o qual aumentou durante o projeto, com distinção.

7.4 Resultados obtidos com cada melhoria, na Fresagem

À semelhança do que foi realizado para o Torneamento, também para a Fresagem se analisaram os ganhos estimados e obtidos com cada melhoria.

7.4.1 Macros na Programação

Como já foi referido, até ao fim da presente dissertação, apenas a macro para automatização da programação dos patins das ferramentas tinha sido implementada, e, por isso, só foi possível verificar os ganhos obtidos em termos de tempo de programação para esta macro.

Sendo assim, o processo de programação de patins, que é realizado em cerca de 30% das ferramentas que passam no CM, apresentava, no início do projeto, um tempo médio de 55 minutos. No final da dissertação, e com a implementação da macro, este processo passou a demorar, em média, 11 minutos, o que representa uma diminuição percentual de 80% do tempo dedicado a esta parte da programação.

7.4.2 Sistema de Etiquetagem

Antes de enunciar os ganhos obtidos, em termos de tempo de *setup*, com a aplicação da ferramenta SMED, importa destacar uma das melhorias implementadas no SMED, e um dos ganhos que se obteve com ela.

Esta melhoria é o sistema de etiquetagem. Verificou-se que, no início do projeto, se estavam a medir, em média, por dia, 53 ferramentas na máquina de medição, enquanto, no fim da dissertação, com a implementação do sistema de etiquetagem, passaram-se a medir em média 28 ferramentas, o que representa uma diminuição percentual de 47.17%.

Mesmo com esta diminuição impactante, é previsto que o valor de ferramentas medidas, por dia, reduza ainda mais, pois, cada vez mais ferramentas de maquinação vão ficando com a etiqueta associada, estando identificadas, e não sendo preciso medi-las novamente, se não forem alterados os seus parâmetros.

A juntar a isto, o sistema de etiquetagem ainda é útil para três situações:

- Verificar os dados das ferramentas de maquinação e as suas posições, durante os cabeçalhos, não sendo necessário ir à torreta da máquina, e rodá-la devagar, para encontrar a ferramenta de maquinação sobre a qual se tem dúvidas.
- Gestão de ferramentaria, com base nas cores de etiquetas não associadas às máquinas, mas que se encontram nos seus quadros de etiquetas, que, tal como já abordado, pode ser indicativo da necessidade de aumentar a quantidade de apertos dessa ferramenta de maquinação.
- Redução de apertos de ferramentas de maquinação. Isto, porque, no plano 5S para o centro, está definida a eliminação dos apertos de ferramentas de maquinação não necessários no centro. Contudo, é difícil identificar quais não são necessários. Assim, as etiquetas nas

ferramentas servirão como uma espécie de *red tag*, sendo que, passados alguns meses da implementação do sistema de etiquetagem, caso um aperto de ferramentas de maquinação, presente num carrinho de ferramentas, não contenha ainda uma etiqueta associada, isso é indicativo de que este aperto deverá ser descartado, uma vez que não é utilizado, pelo menos, desde a implementação do sistema de etiquetagem.

7.4.3 SMED

Depois, foram avaliados os ganhos no tempo de *setup*, com cada uma das melhorias implementadas, e os ganhos estimados, para as melhorias futuras, como demonstrado na Tabela 26 e na Tabela 27.

Estes ganhos são essencialmente associados à Fresagem de construção soldada, uma vez que foram calculados com base no gráfico de análise de processo realizado para este tipo de fresagem, presente no Apêndice V – Gráfico de análise de processo da Fresagem de CS.

De uma forma geral, até ao final da dissertação, o tempo de *setup* médio de uma ferramenta diminuiu de 22.567 minutos para 15.35 minutos, representando uma diminuição percentual de 31.98%, e é estimado, que este venha a ser de 7.517 minutos, no fim do projeto, o que se assume como uma diminuição percentual, face ao início do projeto, de 66.69%.

Tabela 26. Análise à diminuição do tempo de setup, por OF, com as melhorias implementadas na Fresagem.

Melhorias implementadas				
Melhoria	Etapa de <i>setup</i> / Grupo de etapas	Tempo, no início do projeto (min)	Tempo, no final da dissertação (min)	Diminuição do tempo de <i>setup</i>, por OF (min)
Eliminação do processo de obtenção de coordenadas da ferramenta	Obter coordenadas da ferramenta	2,00	0,55	1,45
Verificação dos furos de lubrificação das ferramentas com lanterna	Verificar furos da ferramenta	1,40	0,55	0,85
Sistema de etiquetagem	Medir ferramentas de maquinação	5,28	2,77	2,52
	Trocar ferramentas de maquinação, na máquina	3,28	2,98	0,30
Base de dados com posições e velocidades <i>standard</i> de cada máquina	Verificar e corrigir programa	6,57	4,02	2,55
	Controlar operações de Fresagem (cabeçalhos)	3,07	2,57	0,50
Rebarbagem interna	Rebarbar ferramenta, na mesa de trabalho	19,75	6,25	13,50

Tabela 27. Análise à diminuição do tempo de *setup*, por OF, com as melhorias futuras da Fresagem.

Melhorias futuras				
Melhoria	Etapa de <i>setup</i>	Tempo, no final da dissertação (min)	Tempo, no final do projeto (min)	Diminuição do tempo de <i>setup</i> , por OF (min)
Sistema de <i>pre-setting</i>	Início de operações	1,42	0,25	1,17
	Ir buscar aperto necessário	0,45	0,00	0,45
	Medir ferramentas de maquinação	2,77	0,00	2,77
	Ir buscar pastilhas padrão de teste/bits	0,40	0,00	0,40
	Finalizar ferramenta	19,25	7,60	11,65
	Fechar OF	1,93	0,93	1,00
	Verificar e corrigir programa	4,02	0,00	4,02
Ferramentas de maquinação chamadas pelo nome	Controlar operações de Fresagem (cabeçalhos)	2,57	0,50	2,07

7.5 Impacto estimado, nos indicadores-chave de desempenho da Fresagem

De seguida, tal como já tinha sido realizado para o Torneamento, foi importante estimar os ganhos nos KPI. Para tal, as fórmulas usadas para essas estimativas foram semelhantes às do Torneamento, sendo que, no FRES50, considerou-se o tempo ganho no *setup* apresentado anteriormente, mas, no FRAM50, como não foram medidos os tempos de cada operação de *setup* afeta a este centro, os ganhos foram estimados de forma menos minuciosa, prevendo-se apenas a percentagem de diminuição de cada problema encontrado no diagnóstico, para paragem de máquinas deste centro.

Contudo, a Fresagem apresenta uma diferença em relação ao Torneamento: o TMATT. Posto isto, parte do *output* diário da Fresagem é relativo à maquinação após turno. E, uma vez que existiam os dados do TMATT na Fresagem, pôde-se avaliar a percentagem do *output* diário da Fresagem que provinha da maquinação após término do turno.

Dando o exemplo do FRES50, verificou-se qual era o preço médio de uma ferramenta, no início do projeto, ou seja, a divisão do *output* médio diário, em valor monetário, pelo *output* médio diário, em quantidade. Desta forma, chegou-se a um valor de 504.91 €/ferramenta.

Depois, interessou verificar qual a percentagem de uma ferramenta a ficar completa, em cada uma das máquinas, após o término do turno, diariamente. Isto é, a divisão do TMATT, no início do projeto – 34.13 minutos -, pelo TC de uma ferramenta – 77.20 minutos.

Esse rácio foi multiplicado pelo valor de cada ferramenta, anteriormente calculado – 504.91 € -, e pelo número de máquinas do centro – 3 -, para se verificar quanto, do *output* médio diário monetário, era resultado do tempo de maquinação após término do turno. Esse valor era de 669.66€, ou seja, em média, 669.66€ dos 11673.52€ gerados diariamente, provinham da maquinação após término do turno. Ou seja, ao atuar-se nos problemas para a baixa disponibilidade, fazia sentido trabalhar com o valor gerado durante esse tempo disponível – 11003.86€ -, ou, em quantidade, 21.79 ferramentas. Desta forma, o cálculo das melhorias foi realizado tendo por base que 60.18% de disponibilidade leva a um *output* médio diário de 11003.86€, e não de 11673.52€.

No caso concreto do FRAM50, como não se recolheram, no início do projeto, dados acerca do tempo de ciclo das ferramentas que passam neste centro, teve de se calcular uma média desse tempo de ciclo. Assim, calculou-se, primeiramente, o tempo de trabalho diário numa ferramenta, assumindo-se 9 horas como o tempo disponível para maquinação, pois, apesar da hora de almoço de uma hora do operador do FRAM50, havia outros operadores no centro, ou até mesmo o CE, que podiam garantir o abastecimento da máquina. Assim, essas 9 horas, ou 540 minutos, foram multiplicadas pela disponibilidade do centro, verificando-se que, em média, o tempo de maquinação diário era de 215.24 minutos. Depois, com esse dado do tempo de maquinação diário, e o *output* médio diário, em quantidade, fez-se a divisão do primeiro pelo segundo, para se obter o TC médio de uma ferramenta nesse centro – 69.21 minutos. Todos os restantes cálculos foram os aplicados no FRES50.

Posto isto, há uma melhoria, em que não dá para estimar os seus ganhos, com base nas fórmulas definidas até então. Essa é a otimização do TMATT, que terá em conta o programa criado para o planeamento, e as mensagens que lá aparecem sobre o “tempo livre”.

Assim, era necessário saber quanto é que o *output* proveniente do TMATT poderia aumentar. Como, com o programa, se prevê que a última ferramenta de cada dia, seja colocada perto do fim do turno, de forma a maquinar toda ela após o término do turno, deverá ser maquinada uma ferramenta, em média, após o término do turno, em cada máquina, com a implementação do programa. Ou seja, no FRES50, o TMATT estimado será o TC de uma ferramenta – 77.2 minutos -, passando a ser o valor de *output* associado ao TMATT o valor de três ferramentas, distribuídas pelas três máquinas de FRES50 – 1514.73€. Desta forma, o valor de *output* associado ao TMATT subirá, de forma estimada, de 669.66€ para 1514.73€, ou seja, subirá 845.07€, no FRES50. No FRAM50, o cálculo aplicado é o mesmo, mas considerando apenas uma máquina.

Tendo em conta tudo isto, para este estudo, recorreu-se a vários dados, presentes no Apêndice VI – Distribuição dos problemas, do Torneamento e da Fresagem, que levam a paragem de máquinas, no

Apêndice V – Gráfico de análise de processo da Fresagem de CS, na Figura 46 e na Figura 49. E os resultados desse estudo estão presentes no Apêndice XV – Ganhos estimados nos indicadores da Fresagem, para cada melhoria.

O resumo dos resultados estimados está expresso na Tabela 28.

Tabela 28. KPI estimados e respetivos ganhos percentuais, para a Fresagem.

Centro	Indicador	Início do projeto	Fim da dissertação		Fim do projeto	
		Valor	Valor	Variação percentual	Valor	Variação percentual
FRES50	Disponibilidade (%)	60,18%	68,45%	+13,74%	79,24%	+31,67%
	Output médio diário (Quantidade)	23,12	26,11	+12,95%	31,70	+37,09%
	Output médio diário (Valor)	11 673,52 €	13 185,01 €	+12,95%	16 003,49 €	+37,09%
FRAM50	Disponibilidade (%)	39,86%	51,30%	+28,70%	72,46%	+81,78%
	Output médio diário (Quantidade)	3,11	3,91	+25,64%	6,05	+94,60%
	Output médio diário (Valor)	1 973,82 €	2 479,99 €	+25,64%	3 840,99 €	+94,60%
Fresagem	Output médio diário (Quantidade)	26,23	30,02	+14,45%	37,75	+43,91%
	Output médio diário (Valor)	13 647,34 €	15 665,00 €	+14,78%	19 844,48 €	+45,41%
	Produtividade (€/h.H)	426,48	489,53	+14,78%	620,14	+45,41%

De uma forma geral, previa-se que a disponibilidade do FRES50 aumentasse, de 60.18% para 68.45%, com as melhorias implementadas durante a dissertação; e o *output* médio diário de 11673.52€ para 13185.01€, o que representa um ganho percentual de 12.95%. No futuro, previa-se que esta disponibilidade alcançasse valores por volta de 79.24%; e que o *output* alcançasse os 16003.49€, com um ganho percentual de 37.09% face ao início do projeto.

No FRAM50, estimava-se um aumento da disponibilidade de 39.86% para 51.30% e, no fim do projeto, para 72.46%. Quanto ao *output*, estimava-se um aumento de 1973.82€ para 2479.99€ e, no fim do projeto, para 3840.99€, o que representa um ganho percentual de 25.64%, até ao fim da dissertação, e de 94.60%, até ao fim do projeto.

Globalmente, e como resultado da soma dos dois centros, estimava-se que o *output* do CM registasse um aumento de 13647.34€ para 15665.00€, com as melhorias implementadas até ao fim da dissertação, e esperava-se que aumentasse para 19844.48€, no fim da implementação de todas as melhorias.

7.6 Impacto obtido, nos indicadores-chave de desempenho da Fresagem

À semelhança do Torneamento, foram analisados os KPI da Fresagem, no fim da dissertação, para verificar os ganhos neles obtidos.

7.6.1 Impacto obtido, no OEE parcial da Fresagem

Relativamente ao OEE parcial, a Tabela 29 demonstra a variação ocorrida nos seus parâmetros.

Tabela 29. Variação real, nos parâmetros do OEE da Fresagem, no final da dissertação.

Disponibilidade											
Início do projeto				Fim da dissertação				Variação percentual			
FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50	
CM-0007	CM-0006	CM-0014	CM-0020	CM-0007	CM-0006	CM-0014	CM-0020	CM-0007	CM-0006	CM-0014	CM-0020
39,86%	52,90%	56,55%	70,58%	53,60%	65,27%	67,50%	67,70%	+34,47%	+23,38%	+19,36%	-4,08%
39,86%		60,18%		53,60%		66,82%		+34,47%		+11,04%	
Qualidade											
Início do projeto				Fim da dissertação				Variação percentual			
FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50	
99,52%		99,97%		97,81%		99,91%		-1,72%		-0,06%	
OEE parcial											
Início do projeto				Fim da dissertação				Variação percentual			
FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50		FRAM50		FRES50	
39,67%		60,16%		52,43%		66,76%		+32,16%		+10,97%	

Assim, verifica-se que a disponibilidade média aumentou no FRAM50 de 39.86% para 53.60%, e, no FRES50, de 60.18% para 66.82%. A qualidade diminuiu residualmente em ambos os casos, continuando a manter valores de excelência. De forma geral, o OEE parcial subiu, na Fresagem de APM, de 39.67% para 52.43%, com um ganho percentual de 32.16%; e, na Fresagem de CS, de 60.16% para 66.76%, que reflete um ganho percentual de 10.97%.

7.6.2 Impacto obtido, no *output* médio diário e na produtividade da Fresagem

Relativamente aos restantes principais indicadores do centro, verificou-se a evolução do *output* médio diário da Fresagem, ao longo dos meses da dissertação, estando essa evolução presente na Figura 86. De notar que este *output* resulta da soma dos *outputs* do FRES50 e do FRAM50, cujas evoluções poderão ser encontradas no Apêndice XVI – Evolução do *output* médio diário do FRES50 e do FRAM50, até ao final da dissertação.

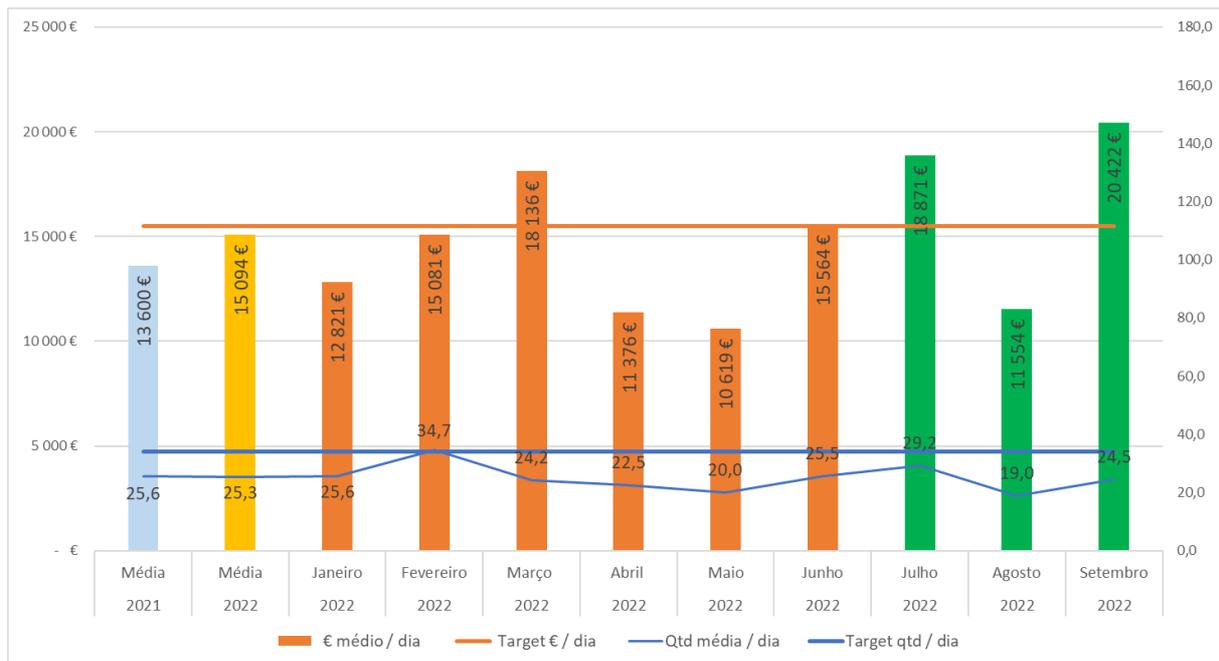


Figura 86. Evolução do output médio diário da Fresagem, até ao final da dissertação.

Em relação à evolução do *output* médio diário da Fresagem, que se assume como o *output* médio diário do CM, é possível verificar que, à exceção dos meses de abril, maio e agosto, este foi sempre cumprido durante o período da dissertação. A justificação para a quebra de *output* nestes meses tem parte da sua fundamentação no que já foi explicado na análise de resultados do Torneamento.

Sendo assim, também para a Fresagem, os três últimos meses da dissertação foram os considerados para se fazer a análise da evolução do *output*, com as melhorias implementadas, uma vez que sua maioria foi implementada nestes meses. Estes três meses contiveram 53 dias úteis para produção distribuídos da seguinte forma: 21 em julho, 13 em agosto e 19 em setembro.

Desta forma, a Tabela 30 demonstra as variações ocorridas, no *output* médio diário, em cada um dos centros da Fresagem, e a variação da Fresagem, em geral, entre o início do projeto e o fim da presente dissertação.

Analisando os valores obtidos, verifica-se que, no FRES50, o *output* médio diário subiu, em termos de valor monetário, de 11673.52€ para 13867.91€, indicando um ganho percentual de 18.80%. Contudo, a quantidade baixou, de 23.12 ferramentas para 21.64, ou seja, uma perda percentual de 6.39%.

Relativamente ao FRAM50, o *output* médio diário subiu de 3.11 ferramentas para 3.38, e de 1973.82€ para 3764.23€, ou seja, com ganhos percentuais de 8.70% e 90.71%, em termos de quantidade e de valor monetário, respetivamente.

Tabela 30. Variação real, nos KPI da Fresagem, no final da dissertação.

Output médio diário						
FRES50	Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
	23,12	11 673,52 €	21,64	13 867,91 €	-6,39%	+18,80%
FRAM50	Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
	3,11	1 973,82 €	3,38	3 764,23 €	+8,70%	+90,71%
Fresagem	Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
	26,23	13 647,33 €	25,02	17 632,13 €	-4,61%	+29,20%
Produtividade						
Fresagem	Início do projeto		Fim da dissertação		Variação percentual	
	426,48 €/h.H		551,00 €/h.H		+29,20%	

No geral, na Fresagem, o *output* médio diário desceu, em quantidade, de 26.23 ferramentas para 25.02, com uma perda percentual de 4.61%; mas subiu, em termos monetários, de 13647.33€ para 17632.13€, o que representa um ganho percentual de 29.20%. Por isso, anualmente, estima-se um ganho do *output* total de 952367.20€.

Este ganho percentual foi o que se obteve também na produtividade, uma vez que os recursos, desde o início do projeto, não foram alterados, pois, embora tenha saído um operador da Fresagem, pouco depois do início do projeto, nos três meses avaliados para o cálculo do *output* final, este já tinha sido substituído, ainda que o novo operador estivesse, no final da dissertação, ainda em fase de formação. A produtividade subiu, portanto, de 426.48 €/h.H para 551.00 €/h.H, durante o período da dissertação.

De forma geral, voltou a acontecer aquilo que já tinha acontecido no Torneamento, ou seja, houve uma diminuição do *output* médio diário, em termos de quantidade, mas uma subida deste, em termos monetários. Mais uma vez, isto acontece devido à subida de complexidade das ferramentas realizadas no CM, sendo necessário mais tempo para fazer cada ferramenta, mas cada uma delas valendo mais, comparativamente ao início do projeto.

8. CONCLUSÕES

Neste capítulo, serão abordadas as principais conclusões que se obtiveram, na realização desta dissertação, explorando-se os resultados gerais obtidos, e abordando ainda aquele que deverá ser o trabalho futuro, na empresa, de forma a permitir que os resultados sejam ainda melhores.

8.1 Considerações finais

Uma vez que o objetivo do projeto passava por aumentar a produtividade do Centro de Maquinagem, expressa essencialmente através do *output* médio diário da Fresagem, torna-se importante verificar o que aconteceu com este indicador.

Assim, para se atingir os níveis de produtividade desejados, foram bastante úteis as ferramentas que se aplicaram, sendo maioritariamente ferramentas *Lean*. Exemplos das ferramentas aplicadas foram o VSM, gráficos de análise do processo, diagramas de *Ishikawa*, “5 Porquês”, diagrama de *Spaghetti*, entre outras, para o diagnóstico; 5W2H, para definir o plano de ações; e SMED, mecanismos de gestão visual, entre outras, para as melhorias.

Com isto, na Fresagem, o *output* médio diário, que se encontrava com o valor de 13647.33€, no início do projeto, passou a apresentar um valor de 17632.13€, o que representa um ganho percentual desse indicador de 29.20%. Este ganho percentual é o mesmo para a produtividade, uma vez que o número de operadores e horas disponíveis para produção, no início e no fim da realização da dissertação, era o mesmo. Com isto, o objetivo diário do CM, de 15500€, passou a ser alcançado, com distinção. Além disso, tendo por base o ganho diário, estima-se um ganho anual de *output* de 952367.20€.

Para se melhorar o CM, e o seu *output*, foi necessário melhorar todos os centros que o constituem – TORN50, FRES50 e FRAM50 -, uma vez que, se a análise se restringisse a apenas um dos centros, os restantes poderiam começar a ser gargalos do sistema de produção.

Sendo assim, no TORN50, foi possível aumentar o OEE parcial, de 51.61% para 62.40%, o que revela um ganho percentual de 20.89%; e o seu *output* médio diário passou de 14131.06€ para 18236.37€, representando um ganho percentual de 29.05%; estimando-se, por isso, um aumento do *output* anual deste centro de 981169.09€. Entrando em detalhe do que pode ter estado por detrás dos ganhos nestes indicadores, a ferramenta SMED permitiu a diminuição do tempo de *setup* médio das operações afetas a este centro, de 20.68 minutos para 18.47 minutos, por ferramenta; e a alteração da estratégia de maquinação tornou possível uma diminuição média de 4.91 minutos do tempo de ciclo das ferramentas da família mais vendida, pertencente ao CM, que se encontrava inicialmente em 40.05 minutos.

No FRES50, com as melhorias implementadas, obteve-se um ganho percentual de 10.97% no OEE parcial, passando de 60.16% para 66.76%; e obteve-se um ganho percentual de 18.80% no *output* médio diário, que passou de 11673.52€ para 13867.91€, começando a cumprir o objetivo definido para este centro, de 13500€. Com a aplicação de SMED, foi possível diminuir o tempo de *setup* de operações associadas à produção de ferramentas da família mais vendida deste centro, de 22.57 minutos para 15.35 minutos.

Quanto ao FRAM50, obteve-se um ganho percentual, no OEE parcial, de 32.16%, evoluindo, com o projeto, de 39.67% para 52.43%. Relativamente ao *output* médio diário, este aumentou de 1973.82€ para 3764.23€, refletindo-se num ganho percentual de 90.71%, o que começou a resultar no cumprimento do objetivo deste indicador para este centro, que era 2000€.

Por último, também a nível de informação, obtiveram-se ganhos, pois começou a ser controlado o parâmetro disponibilidade do OEE, entre outros indicadores, através de um *dashboard*, algo que até ao início da dissertação não era avaliado.

Do ponto de vista geral, este projeto trouxe melhorias notáveis para a empresa, que são necessárias sustentar. Ainda assim, houve algumas dificuldades na sua realização que importam destacar. Desta forma, os operadores, por vezes, mostraram-se pouco recetivos e com dúvidas acerca das melhorias que iriam ser implementadas, tornando mais difícil o processo de implementação. Além disso, algumas das melhorias não ficaram implementadas até ao final da dissertação, devido ao tempo decorrido entre o pedido de um material necessário e a chegada desse material. Por fim, por ser uma empresa que vende produtos customizáveis, tornou-se mais difícil entender os processos de forma detalhada, para se conseguir atuar neles. Assim, foi necessária uma presença assídua no “chão de fábrica”, para enriquecer o conhecimento acerca dos processos.

8.2 Trabalho futuro

Embora se tivessem obtido ganhos consideráveis, ainda há muito a melhorar no CM. Algumas dessas melhorias ficaram definidas, no final da dissertação, para com a empresa, e deveriam ser implementadas pouco tempo depois do fim da dissertação.

Assim, no Torneamento, a máquina TN-0015 deve ser substituída, dado o problema que apresenta no seu tapete de extração. Nessa substituição, deve-se optar por uma máquina com *spindle* do tipo ISO50, de forma a reduzir o tempo de troca do aperto da máquina, quando entra uma nova OF em produção.

Na Programação, devem ser implementadas sucessivamente macros, de forma a automatizar, cada vez mais, o processo de programação da Fresagem, diminuindo o seu tempo. Quando esse tempo for

reduzido substancialmente, de forma que exista um período considerável entre a conceção de um programa e a utilização dele, nas máquinas de Fresagem, a programação de Torneamento deve passar a ser da responsabilidade dos operadores de Programação. Quando isso acontecer, e uma vez que, na Programação, existe o *software Autocad Pro*, deve ser implementada aí uma macro para passagem automática do desenho de Torneamento das ferramentas, para apenas o seu perfil, eliminando o processo de retirar as cotas desnecessárias do desenho de Torneamento. Além disso, deve ser dada formação aos operadores de Programação, tanto nas máquinas de Torneamento, como nas de Fresagem.

Ainda, deve ser implementado o sistema de referenciação direta de ferramentas de maquinação da Fresagem, na Programação e nas máquinas de Fresagem, de forma a eliminar o tempo de corrigir as posições de ferramentas nos programas, quando estes são enviados para as máquinas.

Por último, deve ser implementado o sistema de *pre-setting*, reunindo-se num único operador as principais atividades de preparação de elementos para as máquinas de Fresagem, bem como outros desperdícios, como fechar a OF. Para isso, é preciso implementar uma macro, na Programação, que gira a listagem de ferramentas de maquinação necessárias para uma OF, aquando da realização do seu programa; e integrar, no *dashboard* de planeamento utilizado até então, o programa criado para o capitão de equipa fazer o planeamento por máquina. Só dessa forma, o preparador, ou seja, o responsável pelo *pre-setting*, conseguirá definir qual a próxima OF a preparar para cada uma das máquinas.

Com o sistema de *pre-setting* em pleno funcionamento, deixando os operadores de Fresagem apenas dedicados às máquinas CNC, estes terão mais tempo disponível, devendo começar a ficar responsáveis pelo processo de Furação, no TN-0020. Assim, esse processo deixará de ser uma das causas para a diminuição da disponibilidade das máquinas de Torneamento.

A juntar a isto, o tempo de maquinação após término de turno deve ser otimizado na Fresagem, com o capitão de equipa a verificar o “tempo livre” associado a cada máquina, aquando da inserção de dados no programa de planeamento diário, tentando, por isso, diminuí-lo ao máximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, *107*(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Amaral, L., & Varajão, J. (2007). *Planeamento de Sistemas de Informação* (FCA (ed.)).
- Beecroft, G. D., Duffy, G. L., & Moran, J. W. (2003). *The Executive Guide to Improvement and Change*. Asq Pr.
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of Production Research*, *52*(18), 5346–5366. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.903348>
- Carvalho, J. D. (2021). *Melhoria Contínua nas Organizações* (LIDEL (ed.); 1st ed.).
- Chauhan, G., & Singh, T. P. (2013). Resource flexibility for lean manufacturing: SAP-LAP analysis of a case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, *4*(4), 370–388. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2012-0010>
- Chiarini, A. (2013). Waste savings in patient transportation inside large hospitals using lean thinking tools and logistic solutions. *Leadership in Health Services*, *26*(4), 356–367. <https://doi.org/10.1108/LHS-05-2012-0013>
- Choomlucksana, J., Ongsaranakorn, M., & Suksabai, P. (2015). Improving the Productivity of Sheet Metal Stamping Subassembly Area Using the Application of Lean Manufacturing Principles. *Procedia Manufacturing*, *2*(February), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.090>
- Cua, K. O., McKone, K. E., & Schroeder, R. G. (2001). Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, *19*(6), 675–694. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(01\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(01)00066-3)
- Deif, A. M., & Elmaraghy, H. (2014). Cost performance dynamics in lean production leveling. *Journal of Manufacturing Systems*, *33*(4), 613–623. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.05.010>
- Draganidis, F., Chamopoulou, P., & Mentzas, G. (2008). A semantic web architecture for integrating competence management and learning paths. *Journal of Knowledge Management*, *12*(6), 121–136. <https://doi.org/10.1108/13673270810913667>
- Ellis, S., & Brown, M. (2017). *Hacking Growth: How Today's Fastest-Growing Companies Drive Breakout Success*. Currency.
- Freund, J., & Rücker, B. (2019). *Real-Life BPMN* (4th ed.).
- Gomes, J. P., Lima, R. M., & Martins, P. J. (2009). Analysis of generic product information representation

- models. *IEEM 2009 - IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, January 2016*, 194–198. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2009.5373387>
- Górny, A. (2017). Identification of occupational accident causes by use the Ishikawa diagram and Pareto principles. *Economics and Management Innovations (ICEMI)*, *1*(1), 384–388. <https://doi.org/10.26480/icemi.01.2017.384.388>
- Goshime, Y., Kitaw, D., & Jilcha, K. (2019). Lean manufacturing as a vehicle for improving productivity and customer satisfaction: A literature review on metals and engineering industries. *International Journal of Lean Six Sigma*, *10*(2), 691–714. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2017-0063>
- Hall, R. (1986). *Attaining Manufacturing Excellence: Just-in-time, Total Quality, Total People Involvement* (D. Jones-Irwin (ed.)).
- Hegge, H. M. H. (1992). A generic bill-of-material processor using indirect identification of products. *Production Planning and Control*, *3*(3), 336–342. <https://doi.org/10.1080/09537289208919405>
- Jabbour, C. J. C., De Sousa Jabbour, A. B. L., Govindan, K., Teixeira, A. A., & De Souza Freitas, W. R. (2013). Environmental management and operational performance in automotive companies in Brazil: The role of human resource management and lean manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, *47*, 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.010>
- Jasti, N. V. K., & Sharma, A. (2015). Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool a case study from auto components industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, *5*(1), 89–116. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2012-0002>
- Jastia, N. V. K., & Kodali, R. (2015). Lean production: Literature review and trends. *International Journal of Production Research*, *53*(3), 867–885. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.937508>
- Jiao, J., Tseng, M. M., & Zou, Y. (2000). *Generic Bill-of-Materials-and-Operations for High-Variety Production Management*. *8*(4), 297–322.
- Jones, D., & Womack, J. (2002). *Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream*.
- Kanet, J. J., & Wells, C. E. (2019). Setting bin quantities for 2-Bin Kanban systems (version 3). *Omega (United Kingdom)*, *87*, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.08.010>
- Kiran, D. R. (2020). *Work Organization and Methods Engineering for Productivity*.
- Kirchmer, M., Benedict, T., Scharsig, M., Franz, P., Saxena, R., Morris, D., & Hilty, J. (2019). *Guide to the BPM common body of knowledge*. ABPMP International.
- Kumar, S., Dhingra, A. K., & Singh, B. (2018). Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *96*(5–8), 2687–2698. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-1684-8>

- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: A case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Larrañaga Lesaca, J. M., Zulueta Guerrero, E., Lopez-Guede, J. M., Ramos-Hernanz, J., Larrañaga Juaristi, A., & Akizu, O. (2017). Measuring global effectiveness of integrated electric energy systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(28), 18121–18133. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.04.057>
- Leme, R. D., Nunes, A. O., Message Costa, L. B., & Silva, D. A. L. (2018). Creating value with less impact: Lean, green and eco-efficiency in a metalworking industry towards a cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 196, 517–534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.064>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*.
- Liliana, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>
- Mathiassen, L., Chiasson, M., & Germonprez, M. (2018). Style composition in action research publication. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 36(2), 347–363. <https://doi.org/10.2307/41703459>
- Meier, D., & Liker, J. K. (2005). *The Toyota Way Fieldbook* (M.-H. E.- Europe (ed.)).
- Monden, Y. (1998). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-time*.
- Nagyová, A., Pačaiová, H., Gobanová, A., & Turisová, R. (2019). An empirical study of root-cause analysis in automotive supplier organisation. *Quality Innovation Prosperity*, 23(2), 34–45. <https://doi.org/10.12776/QIP.V23I2.1243>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*.
- Palange, A., & Dhatrak, P. (2021). Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 46, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.193>
- Panwar, A., Nepal, B. P., Jain, R., & Rathore, A. P. S. (2015). On the adoption of lean manufacturing principles in process industries. *Production Planning and Control*, 26(7), 564–587. <https://doi.org/10.1080/09537287.2014.936532>
- Pellegrini, S., Shetty, D., & Manzione, L. (2012). Study and implementation of single minute exchange of die (SMED) methodology in a setup reduction kaizen. *3rd 2012 International Conference on*

- Industrial Engineering and Operations Management*, 3-6 July 2012, 2353–2363.
- Pillet, M., Martin-Bonnefous, C., & Courtois, A. (2003). *Gestão da Produção* (LIDEL (ed.)).
- Pinto, J. P. (2009). *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras* (LIDEL (ed.)).
- Realyvásquez-Vargas, A., Arredondo-Soto, K. C., Carrillo-Gutiérrez, T., & Ravelo, G. (2018). Applying the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to reduce the defects in the manufacturing industry. A case study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/app8112181>
- Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D., Wuest, T., & Thürer, M. (2019). Rethinking jidoka systems under automation & learning perspectives in the digital lean manufacturing world. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 899–903. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.309>
- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing People for Improvement, Adaptiveness and Superior Results*. McGraw Hill.
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*.
- Sampson, D. G. (2008). Handbook on Information Technologies for Education and Training. *Handbook on Information Technologies for Education and Training, April*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74155-8>
- Sedlmair, M., Meyer, M., & Munzner, T. (2012). Design study methodology: Reflections from the trenches and the stacks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12), 2431–2440. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.213>
- Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*.
- Shingo, S. (1989). *A study of the Toyota Production System - From an industrial engineering viewpoint*.
- Singh, R., Gohil, A. M., Shah, D. B., & Desai, S. (2013). Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. *Procedia Engineering*, 51(NUICONE 2012), 592–599. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.084>
- Siqueira, J. G., & De Paula, M. M. V. (2018). IPead A/B test execution framework. *ACM International Conference Proceeding Series*, 104–111. <https://doi.org/10.1145/3229345.3229360>
- Staniec, I., & Zakrzewska-bielawska, A. (2011). *Expected and achieved matrix of competence in manager training*. 2, 42–46.
- Stepanenko, V., & Kashevnik, A. (2017). Competence management systems in organisations: A literature review. *Conference of Open Innovation Association, FRUCT, 2017-April*, 427–433. <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8071344>
- Suárez-Barraza, M. F., & Rodríguez-González, F. G. (2019). Cornerstone root causes through the analysis

- of the Ishikawa diagram, is it possible to find them?: A first research approach. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(2), 302–316. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-12-2017-0113>
- Suryaprakash, M., Gomathi Prabha, M., Yuvaraja, M., & Rishi Revanth, R. V. (2019). Improvement of overall equipment effectiveness of machining centre using tpm. *Materials Today: Proceedings*, 46, 9348–9353. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.820>
- The Productivity Development Team. (1999). *OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness*. Taylor & Francis.
- Wittmayer, J. M., & Schöpke, N. (2014). Action, research and participation: roles of researchers in sustainability transitions. *Sustainability Science*, 9(4), 483–496. <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0258-4>
- Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*.
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

ANEXO I – FERRAMENTAS E ELEMENTOS PERTENCENTES AO CENTRO DE MAQUINAGEM



Figura 87. Exemplos de apertos de ferramentas de maquinação.



Figura 88. Exemplos de ferramentas de maquinação.



Figura 89. Exemplos de apertos das máquinas.



Figura 90. Torreta de uma máquina, com ferramentas de maquinação.



Figura 91. Exemplos de grampos.

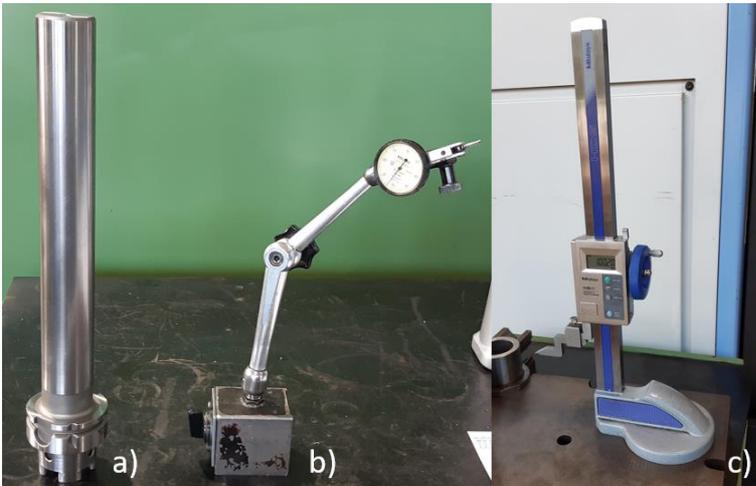


Figura 92. Utensílios do Centro de Maquinagem. a) Padrão; b) Comparador; c) Altimetro.

APÊNDICE I – FLUXO DE PROCESSOS ASSOCIADO À PRODUÇÃO DE UMA FERRAMENTA COM CORPO EM AÇO

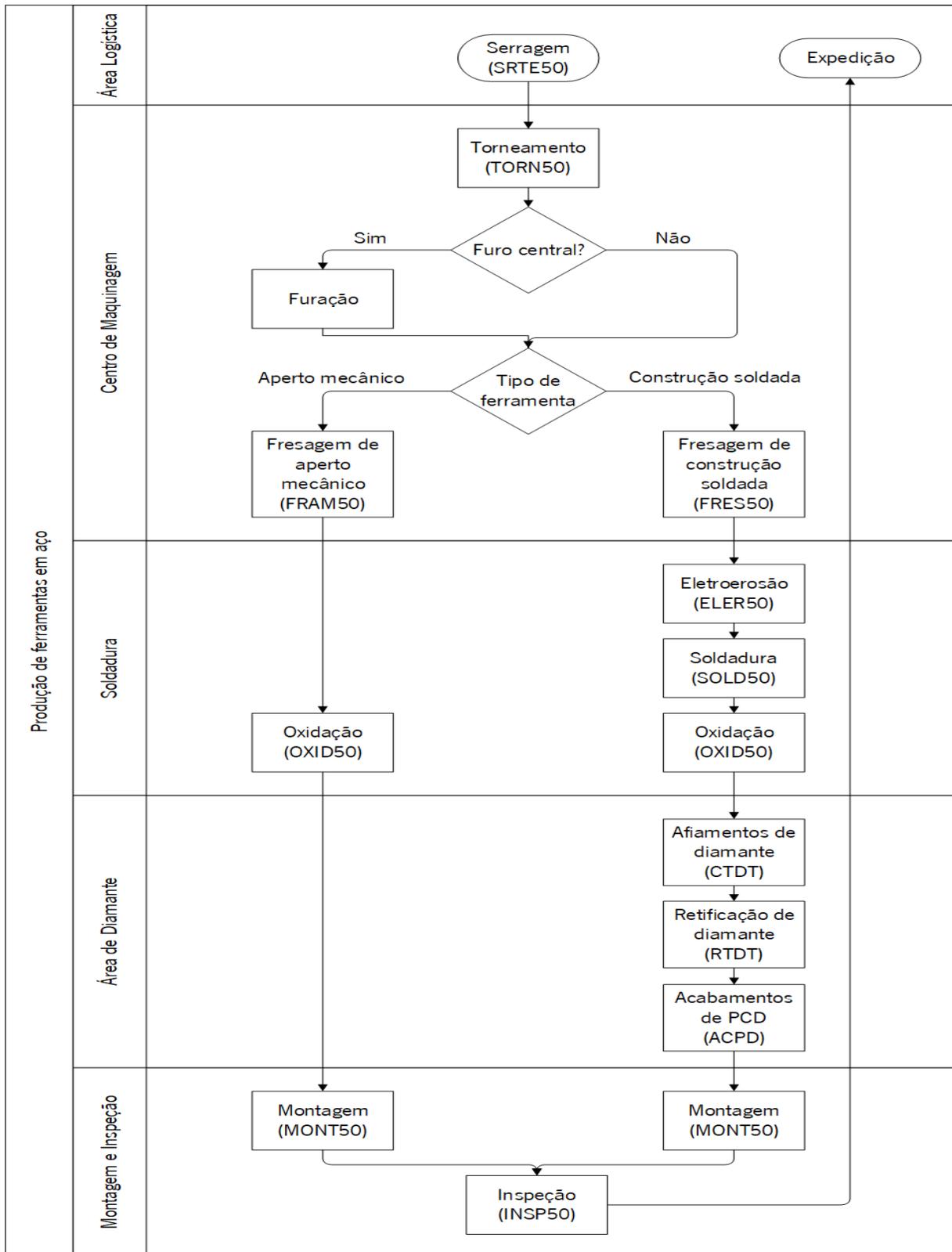


Figura 93. Fluxograma de processo de produção de ferramentas com corpo em aço.

APÊNDICE II – DISPONIBILIDADE DAS MÁQUINAS DE TORNEAMENTO E FRESAGEM, ANTES DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Tabela 31. Disponibilidade das máquinas do CM, antes da implementação de melhorias.

Semana	Centro	Máquina	Tempo de maquinação (min)	Tempo de trabalho (min)	Disponibilidade/máquina	Disponibilidade/centro
1	TORN50	TN-0015	1737,00	4550	38,18%	41,41%
		TN-0016	2031,00	4550	44,64%	
	FRES50	CM-0006	1403,03	4620	30,37%	45,34%
		CM-0014	809,75	2160	37,49%	
		CM-0020	2955,76	4620	63,98%	
FRAM50	CM-0007	626,10	2160	28,99%	28,99%	
2	TORN50	TN-0015	2194,00	4380	50,09%	55,43%
		TN-0016	2662,00	4380	60,78%	
	FRES50	CM-0006	2185,19	3060	71,41%	71,96%
		CM-0014	1914,97	3060	62,58%	
		CM-0020	2506,20	3060	81,90%	
FRAM50	CM-0007	1551,57	2970	52,24%	52,24%	
3	TORN50	TN-0015	1911,00	4380	43,63%	50,39%
		TN-0016	2503,00	4380	57,15%	
	FRES50	CM-0006	1864,71	3060	60,94%	55,18%
		CM-0014	1304,60	3060	42,63%	
		CM-0020	1896,59	3060	61,98%	
FRAM50	CM-0007	1069,94	3060	34,97%	34,97%	
4	TORN50	TN-0015	2973,00	4740	62,72%	61,68%
		TN-0016	2874,00	4740	60,63%	
	FRES50	CM-0006	2205,75	3120	70,70%	68,24%
		CM-0014	2015,49	3000	67,18%	
		CM-0020	2084,16	3120	66,80%	
FRAM50	CM-0007	1286,63	2700	47,65%	47,65%	
5	TORN50	TN-0015	1973,00	4500	43,84%	50,36%
		TN-0016	2559,00	4500	56,87%	
	FRES50	CM-0006	1641,40	3720	44,12%	62,98%
		CM-0014	2725,28	4200	64,89%	
		CM-0020	2964,72	3720	79,70%	
FRAM50	CM-0007	1480,69	4200	35,25%	35,25%	
Total	TORN50	TN-0015	10788,00	22550	47,84%	51,92%
		TN-0016	12629,00	22550	56,00%	
	FRES50	CM-0006	9300,07	17580	52,90%	60,18%
		CM-0014	8770,10	15480	56,65%	
		CM-0020	12407,42	17580	70,58%	
	FRAM50	CM-0007	6014,92	15090	39,86%	39,86%

APÊNDICE III – GRÁFICO DE ANÁLISE DE PROCESSO DO TORNEAMENTO

Tabela 32. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (1ª parte).

Etapa	Tempo (horas:min:seg) Início do projeto	Tempo (horas:min:seg) Fim da dissertação	Tempo (horas:min:seg) Fim do projeto	Local	Operação					Descrição	Tipo de atividade	Grupo de etapas
					Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Armazenamento			
1	00:01:10	00:00:32	00:00:00	Carga TN-0015/16	●	➡	□	D	▽	Verificar dados do desenho	Externa	Programação
2	00:00:04	00:00:04	00:00:00	Carga TN-0015/16 → PC	○	➡	□	D	▽	Levar desenho da ferramenta para o computador	Externa	
3	00:02:05	00:02:05	00:00:00	PC	●	➡	□	D	▽	Preparar desenho para programa	Externa	
4	00:05:59	00:04:04	00:00:00	PC	●	➡	□	D	▽	Fazer programa, e enviá-lo para máquina	Externa	
5	00:00:04	00:00:04	00:00:00	PC → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Levar desenho da ferramenta para a máquina	Externa	
6	00:00:06	00:00:06	00:00:06	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Colocar desenho da ferramenta na máquina	Externa	Troca de aperto
7	00:00:30	00:00:30	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Retirar grampos da ferramenta anterior	Interna	
8	00:00:03	00:00:03	00:00:02	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Ir buscar grampos da nova ferramenta, para colocar o aperto	Externa	
9	00:00:52	00:00:52	00:00:26	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Montar grampos, na máquina	Interna	
10	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/16 → Armário 5 → Armário TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Ir buscar aperto necessário para nova ferramenta	Externa	
11	00:00:58	00:00:58	00:00:29	Armário TN-0015/16	●	➡	□	D	▽	Abrir o aperto e marcar bolacha, com marcador	Externa	
12	00:00:05	00:00:05	00:00:02	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Colocar bolacha na máquina	Interna	
13	00:00:39	00:00:39	00:00:20	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Aproximar torreta, de forma manual	Interna	
14	00:00:44	00:00:44	00:00:22	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Retificar bolacha	Interna	
15	00:00:26	00:00:26	00:00:13	TN-0015/ TN-0016	○	➡	■	D	▽	Verificar bolacha	Interna	
16	00:00:44	00:00:44	00:00:44	Armário TN-0015/16	●	➡	□	D	▽	Limpar suporte (aperto), com papel	Interna	
17	00:00:02	00:00:02	00:00:02	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Levar suporte (aperto) para máquina	Externa	
18	00:00:22	00:00:22	00:00:11	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Montar suporte (aperto) na bolacha	Interna	
19	00:00:09	00:00:09	00:00:09	TN-0015/16 → Armário 5 → Armário TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Ir buscar padrão	Externa	
20	00:00:08	00:00:08	00:00:08	Armário TN-0015/16	●	➡	□	D	▽	Limpar padrão, com papel	Externa	
21	00:00:16	00:00:16	00:00:16	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Colocar padrão na máquina	Interna	
22	00:00:08	00:00:08	00:00:08	TN-0015/16 → TN-0020 → TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Ir buscar comparador	Externa	
23	00:00:08	00:00:08	00:00:08	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Limpar comparador	Externa	
24	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016	○	➡	□	D	▽	Colocar comparador na máquina	Interna	
25	00:03:44	00:03:44	00:01:52	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Desempenar aperto	Interna	
26	00:00:14	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16	○	➡	□	D	▽	Retirar padrão e comparador da máquina	Interna	
27	00:00:42	00:00:42	00:00:42	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Aproximar torreta, de forma manual, e tirar O ao aperto	Interna	
28	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/ TN-0016	●	➡	□	D	▽	Desaproximar torreta	Interna	

Tabela 33. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (2ª parte).

29	00:00:26	00:00:26	00:00:26	TN-0015/16 → Carga TN-0015/16→		Retirar ferramentas da caixa	Externa	Preparação das operações de Torneamento
30	00:02:53	00:02:53	00:02:53	Armário TN-0015/16		Limpar ferramentas	Externa	
31	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0016 ou TN-0015 → PC → TN-0015		Chamar programa para a máquina	Interna	
32	00:00:29	00:00:29	00:00:29	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 1 na máquina, com chave	Interna	Desbaste à face (ferramenta 1)
33	00:00:19	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de desbaste à face, no programa	Interna	
34	00:08:48	00:03:57	00:03:57	TN-0015/ TN-0016		Desbaste à face (ferramenta 1)		
35	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
36	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 1 da máquina, com chave	Interna	
37	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, e aperto	Interna	Desbaste à face (ferramenta 2)
38	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 2 na máquina, com chave	Interna	
39	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
40	00:08:48	00:03:57	00:03:57	TN-0015/ TN-0016		Desbaste à face (ferramenta 2)		
41	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, com pistola de ar	Interna	
42	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 2 da máquina, com chave	Interna	Desbaste à face (ferramenta 3)
43	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, e aperto	Interna	
44	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 3 na máquina, com chave	Interna	
45	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
46	00:08:48	00:03:57	00:03:57	TN-0015/ TN-0016		Desbaste à face (ferramenta 3)		
47	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/16		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna	Controlo do batimento do aperto
48	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 3 da máquina, com chave	Interna	
49	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 3, e aperto	Interna	
50	00:00:16	00:00:16	00:00:16	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar padrão na máquina	Interna	
51	00:00:04	00:00:04	00:00:04	Armário TN-0015/16		Limpar comparador	Externa	
52	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Colocar comparador na máquina	Interna	
53	00:00:41	00:00:41	00:00:41	TN-0015/ TN-0016		Controlar batimento do aperto	Interna	
54	00:00:14	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar padrão e comparador da máquina	Interna	
55	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar padrão e aperto, com pistola de ar	Interna	

Tabela 34. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (3ª parte).

56	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 1 na máquina, com chave	Interna	Ponto (ferramenta 1)
57	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de dar o ponto, no programa	Interna	
58	00:01:39	00:01:39	00:01:39	TN-0015/ TN-0016		Operação de dar o ponto (ferramenta 1), no programa	Interna	
59	00:00:06	00:00:06	00:00:06	TN-0015/ TN-0016		Verificar se ponto não partiu	Interna	
60	00:00:19	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de acabamento à face, no programa	Interna	Acabamento à face (ferramenta 1)
61	00:00:18	00:00:14	00:00:14	TN-0015/ TN-0016		Acabamento à face (ferramenta 1)		
62	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
63	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 1 da máquina, com chave	Interna	
64	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, e aperto	Interna	
65	00:00:04	00:00:04	00:00:04	TN-0015/16 → Armário 5		Transportar ferramenta 1 para o altímetro	Interna	Controlo da cota comprimento
66	00:00:11	00:00:11	00:00:11	Armário 5		Limpar suporte do altímetro e parte de trás da ferramenta, com papel	Interna	
67	00:00:03	00:00:03	00:00:03	Armário 5		Controlar cota comprimento, no altímetro	Interna	
68	00:00:04	00:00:04	00:00:04	Armário 5 → TN-0015/16		Transportar ferramenta 1 para o armário da máquina	Interna	
69	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 2 na máquina, com chave	Interna	Ponto (ferramenta 2)
70	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
71	00:01:39	00:01:39	00:01:39	TN-0015/ TN-0016		Operação de dar o ponto (ferramenta 2), no programa	Interna	
72	00:00:06	00:00:06	00:00:06	TN-0015/ TN-0016		Verificar se ponto não partiu	Interna	
73	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	Acabamento à face (ferramenta 2)
74	00:00:18	00:00:14	00:00:14	TN-0015/ TN-0016		Acabamento à face (ferramenta 2)		
75	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 2, com pistola de ar	Interna	
76	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 2 da máquina, com chave	Interna	
77	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, e aperto	Interna	
78	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 3 na máquina, com chave	Interna	Ponto (ferramenta 3)
79	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
80	00:01:39	00:01:39	00:01:39	TN-0015/ TN-0016		Operação de dar o ponto (ferramenta 2), no programa	Interna	
81	00:00:06	00:00:06	00:00:06	TN-0015/ TN-0016		Verificar se ponto não partiu	Interna	
82	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	Acabamento à face (ferramenta 3)
83	00:00:18	00:00:14	00:00:14	TN-0015/ TN-0016		Acabamento à face (ferramenta 3)		
84	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna	

Tabela 35. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (4ª parte).

85	00:00:29	00:00:29	00:00:29	TN-0015/ TN-0016		Verificar condição das pastilhas das ferramentas de desbaste	Interna	Desbaste ao diâmetro (ferramenta 3)	
86	00:00:18	00:00:18	00:00:18	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma manual	Interna		
87	00:00:19	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de desbaste ao diâmetro com ferramenta de desbaste 1, no programa	Interna		
88	00:19:22	00:19:22	00:19:22	TN-0015/ TN-0016		Desbaste ao diâmetro com ferramenta de desbaste 1 (ferramenta 3)			
89	00:00:07	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna		
90	00:00:19	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de desbaste ao diâmetro com ferramenta de desbaste 2, no programa	Interna		
91	00:02:41	00:02:41	00:02:41	TN-0015/ TN-0016		Desbaste ao diâmetro com ferramenta de desbaste 2 (ferramenta 3)			
92	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna		
93	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma automática	Interna		
94	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 3 da máquina, com chave	Interna		
95	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 3, e aperto	Interna		
96	00:00:29	00:00:29	00:00:29	TN-0015/ TN-0016		Verificar condição das pastilhas das ferramentas de desbaste	Interna		Desbaste ao diâmetro (ferramenta 1)
97	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 1 na máquina, com chave	Interna		
98	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma automática	Interna		
99	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna		
100	00:22:03	00:22:03	00:22:03	TN-0015/ TN-0016		Desbaste ao diâmetro (ferramenta 1)			
101	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna		
102	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma automática	Interna		
103	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 1 da máquina, com chave	Interna		
104	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, e aperto	Interna	Desbaste ao diâmetro (ferramenta 2)	
105	00:00:29	00:00:29	00:00:29	TN-0015/ TN-0016		Verificar condição das pastilhas das ferramentas de desbaste	Interna		
106	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 2 na máquina, com chave	Interna		
107	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma automática	Interna		
108	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna		
109	00:22:03	00:22:03	00:22:03	TN-0015/ TN-0016		Desbaste ao diâmetro (ferramenta 2)			
110	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 2, com pistola de ar	Interna		
111	00:00:24	00:00:24	00:00:24	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma manual	Interna		
112	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 2 da máquina, com chave	Interna		
113	00:00:26	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, e aperto	Interna		

Tabela 36. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (5ª parte).

114	00:00:16	00:00:16	00:00:16	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar padrão na máquina	Interna	Controlo do batimento do aperto
115	00:00:04	00:00:04	00:00:04	Armário TN-0015/16		Limpar comparador	Externa	
116	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Colocar comparador na máquina	Interna	
117	00:00:41	00:00:41	00:00:41	TN-0015/ TN-0016		Controlar batimento do aperto	Interna	
118	00:00:14	00:00:14	00:00:14	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar padrão e comparador da máquina	Interna	
119	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 e Armário TN-0015/16		Limpar padrão e aperto, com pistola de ar	Interna	
120	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 1 na máquina, com chave	Interna	Preparação do acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 1
121	00:00:18	00:00:18	00:00:18	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma manual	Interna	
122	00:00:19	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de acabamento ao diâmetro com ferramenta de acabamento 1, no programa	Interna	
123	00:00:49	00:00:49	00:00:49	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 1 - Teste (ferramenta 1)	Interna	
124	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
125	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro, e envio para corretas
126	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
127	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
128	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0015/ TN-0016		Colocar cotas corretas, no programa de acabamento ao diâmetro	Interna	
129	00:00:49	00:00:49	00:00:49	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 1 (ferramenta 1)		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 1 (ferramenta 1)
130	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
131	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro
132	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
133	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
134	00:00:19	00:00:07	00:00:07	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de acabamento ao diâmetro com ferramenta de acabamento 2, no programa	Interna	Preparação do acabamento, com ferramenta de acabamento 2
135	00:00:13	00:00:13	00:00:13	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 2 - Teste (ferramenta 1)	Interna	
136	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
137	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro, e envio para corretas
138	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
139	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
140	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0015/ TN-0016		Colocar cotas corretas, no programa de acabamento ao diâmetro	Interna	
141	00:00:13	00:00:13	00:00:13	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 2 (ferramenta 1)		Acabamento ao diâmetro, com ferramenta de acabamento 2 (ferramenta 1)
142	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	

Tabela 37. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (6ª parte).

143	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro
144	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
145	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
146	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 1 da máquina, com chave	Interna	Fim das operações de acabamento ao diâmetro (ferramenta 1)
147	00:00:30	00:00:18	00:00:18	Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, e aperto	Interna	
148	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma automática	Interna	
149	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 2 na máquina, com chave	Interna	Acabamento ao diâmetro (ferramenta 2)
150	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma automática	Interna	
151	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
152	00:01:02	00:01:02	00:01:02	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro (ferramenta 2)		
153	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 2, com pistola de ar	Interna	
154	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro
155	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
156	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
157	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma automática	Interna	Fim das operações de acabamento ao diâmetro (ferramenta 2)
158	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 2 da máquina, com chave	Interna	
159	00:00:30	00:00:18	00:00:18	Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, e aperto	Interna	
160	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 3 na máquina, com chave	Interna	Acabamento ao diâmetro (ferramenta 3)
161	00:00:02	00:00:02	00:00:02	TN-0015/ TN-0016		Aproximar contraponto, de forma automática	Interna	
162	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
163	00:01:02	00:01:02	00:01:02	TN-0015/ TN-0016		Acabamento ao diâmetro (ferramenta 3)		
164	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna	
165	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Ir buscar paquímetro	Interna	Controlo das cotas do diâmetro
166	00:00:10	00:00:10	00:00:10	TN-0015/ TN-0016		Controlar cotas do diâmetro com paquímetro	Interna	
167	00:00:03	00:00:03	00:00:03	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar paquímetro	Interna	
168	00:00:45	00:00:45	00:00:45	TN-0015/ TN-0016		Desaproximar contraponto, de forma manual	Interna	Fim das operações de acabamento ao diâmetro (ferram.

Tabela 38. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (7ª parte).

169	00:00:21	00:00:21	00:00:21	TN-0015/ TN-0016		Desapertar o aperto da broca	Interna	Preparação das operações de furação e escareação
170	00:00:05	00:00:05	00:00:05	TN-0015/16 → Armário TN-0020		Ir buscar ferramenta de maquinação (broca)	Externa	
171	00:00:10	00:00:02	00:00:02	Armário TN-0020		Procurar ferramenta de maquinação (broca) necessária	Externa	
172	00:00:05	00:00:00	00:00:00	Armário TN-0020		Confirmar diâmetro da ferramenta de maquinação (broca), com paquímetro	Externa	
173	00:00:13	00:00:02	00:00:02	Armário TN-0020		Procurar pinça necessária para ferramenta de maquinação	Externa	
174	00:00:05	00:00:05	00:00:05	Armário TN-0020 → TN-0015/16		Levar ferramenta de maquinação (broca) e pinça para a máquina	Externa	
175	00:00:14	00:00:14	00:00:14	Armário TN-0020		Apertar ferramenta de maquinação (broca) no aperto	Interna	
176	00:00:42	00:00:42	00:00:42	TN-0015/ TN-0016		Tirar 0 à ferramenta de maquinação (broca)	Interna	
177	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0015/ TN-0016		Chamar programa de furar	Interna	
178	00:04:53	00:04:53	00:04:53	TN-0015/ TN-0016		Furação, na parte frontal da ferramenta (ferramenta 3)		
179	00:00:19	00:00:19	00:00:19	TN-0015/ TN-0016		Chamar operação de escarear, dentro do programa de furar	Interna	Furação e escareação (ferramenta 3)
180	00:02:59	00:02:59	00:02:59	TN-0015/ TN-0016		Escareação do furo (ferramenta 3)		
181	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 3, com pistola de ar	Interna	
182	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 3 da máquina, com chave	Interna	
183	00:00:26	00:00:14	00:00:14	Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 3, e aperto	Interna	
184	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 1 na máquina, com chave	Interna	Furação e escareação (ferramenta 1)
185	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
186	00:04:53	00:04:53	00:04:53	TN-0015/ TN-0016		Furação, na parte frontal da ferramenta (ferramenta 1)		
187	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
188	00:02:59	00:02:59	00:02:59	TN-0015/ TN-0016		Escareação do furo (ferramenta 1)		
189	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 1, com pistola de ar	Interna	
190	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 1 da máquina, com chave	Interna	
191	00:00:26	00:00:14	00:00:14	Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 1, e aperto	Interna	
192	00:00:09	00:00:09	00:00:09	Armário TN-0015/16 → TN-0015/16		Colocar ferramenta 2 na máquina, com chave	Interna	Furação e escareação (ferramenta 2)
193	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
194	00:04:53	00:04:53	00:04:53	TN-0015/ TN-0016		Furação, na parte frontal da ferramenta (ferramenta 2)		
195	00:00:01	00:00:01	00:00:01	TN-0015/ TN-0016		Iniciar operação, na máquina (carregar no botão START)	Interna	
196	00:02:59	00:02:59	00:02:59	TN-0015/ TN-0016		Escareação do furo (ferramenta 2)		
197	00:00:11	00:00:11	00:00:11	TN-0015/ TN-0016		Limpar ferramenta 2, com pistola de ar	Interna	
198	00:00:15	00:00:15	00:00:15	TN-0015/16 → Armário TN-0015/16		Retirar ferramenta 2 da máquina, com chave	Interna	
199	00:00:26	00:00:14	00:00:14	Armário TN-0015/16		Limpar ferramenta 2, e aperto	Interna	

Tabela 39. Gráfico de análise do processo de Torneamento, da família E991 (8ª parte).

200	00:00:04	00:00:04	00:00:04	TN-0015/16 → Armário TN-0020		Retirar ferramenta de maquinação (broca) e pinça, da máquina, e limpá-las	Interna	Fim das operações de furação e escareação				
201	00:00:13	00:00:13	00:00:13	TN-0015/16 → Armário TN-0020 → TN-0015/16		Levar ferramenta de maquinação (broca) e pinça para o armário	Externa					
202	00:00:21	00:00:21	00:00:21	Armário TN-0015/16 → Carga TN-0015/16		Colocar ferramentas nas respectivas caixas, dentro da caixa da OF	Externa	Fim das operações de Torneamento				
203	00:00:04	00:00:04	00:00:04	Carga TN-0015/16 → Carga TN-0020		Transportar ferramentas para a carga do TN-0020	Externa	Fechar OF				
204	00:00:01	00:00:01	00:00:01	Carga TN-0020		Colocar caixa na carga do TN-0020	Externa					
205	00:02:09	00:02:09	00:02:09	Armário TN-0020		Preencher checklist	Externa					
Total (lote)	03:02:13	02:40:47	02:29:47	Setup		TS médio (1 ferramenta)	Setup interno (lote)	Setup interno médio (1 ferramenta)				
				Início do projeto	00:44:12	00:10:38	00:06:50	00:00:23	00:00:01	00:20:41	00:43:45	00:14:35
				Fim da dissertação	00:37:55	00:10:38	00:06:45	00:00:04	00:00:01	00:18:28	00:40:01	00:13:20
				Fim do projeto	00:27:34	00:10:11	00:06:32	00:00:04	00:00:01	00:14:47	00:36:20	00:12:07
				Atividades de valor acrescentado						TC (1 ferramenta)	Setup externo (lote)	Setup externo médio (1 ferramenta)
				Início do projeto	02:00:09					00:40:03	00:18:19	00:06:06
				Fim da dissertação	01:45:24					00:35:08	00:15:22	00:05:07
Fim do projeto	01:45:24					00:35:08	00:08:02	00:02:41				

APÊNDICE IV – GRÁFICO DE ANÁLISE DE PROCESSO DA FURAÇÃO

Tabela 40. Gráfico de análise do processo de Furação, da família E991.

Etapa	Tempo (horas:min:seg) <i>Início do projeto</i>	Local	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Armazenamento	Descrição	Grupo de etapas
1	00:00:26	Carga TN-0020 → Armário TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Retirar ferramenta da caixa e colocá-la em cima do armário	Preparação da furação
2	00:00:04	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Limpar TN-0020 (limpas), com pistola de ar	
3	00:00:03	Armário TN-0020 → TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Colocar ferramenta no TN-0020	
4	00:00:16	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Apertar ferramenta, no TN-0020	
5	00:01:27	TN-0020	○	➔	■	⊔	▽	Controlar batimento (calibrar ferramenta)	
6	00:00:02	TN-0020 → Armário TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Ir buscar brocas	
7	00:00:11	Armário TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Procurar brocas	
8	00:00:11	Armário TN-0020	○	➔	■	⊔	▽	Confirmar tamanho das brocas, com paquímetro	
9	00:00:20	Armário TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Marcar brocas, com marcador, com tamanho do furo necessário, consoante desenho	
10	00:00:05	Armário TN-0020 → TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Colocar broca de tirar dureza na máquina	Tirar dureza
11	00:01:18	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Início da furação (tirar dureza)	
12	00:00:14	TN-0020 → Armário TN-0020 → TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Retirar broca de tirar dureza e colocar 1ª broca para furar	Furação
13	00:02:04	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Furação (1ª parte)	
14	00:00:14	TN-0020 → Armário TN-0020 → TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Retirar 1ª broca de furar e colocar 2ª broca	
15	00:06:16	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Furação (2ª parte)	Fim da furação
16	00:00:09	TN-0020 → Armário TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Limpar broca de furar e arrumá-la	
17	00:01:15	TN-0020	●	➔	□	⊔	▽	Retirar ferramenta e limpar com papel	
18	00:00:14	TN-0020 → Carga TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Colocar ferramenta na caixa, e dentro da caixa da OF	Fechar OF
19	00:00:06	Carga TN-0020 → PC	○	➔	□	⊔	▽	Ir ao computador, com caixa da OF anterior	
20	00:00:09	PC	●	➔	□	⊔	▽	Picar caixa, no computador	
21	00:00:07	PC → Tapete FRES	○	➔	□	⊔	▽	Levar caixa ao PT seguinte	
22	00:00:01	Tapete FRES	○	➔	□	⊔	▽	Colocar caixa da OF anterior na carga da Fresagem	
23	00:00:07	Tapete FRES → Carga TN-0020	○	➔	□	⊔	▽	Ir verificar nova caixa	
Total (lote)	00:43:29	Setup	●	➔	■	⊔	▽	TS médio (1 ferramenta)	
			00:09:08	00:04:37	00:04:32	00:00:11	00:00:01	00:06:10	
		Atividades de valor acrescentado	●					TC (1 ferramenta)	
			00:25:00				00:08:20		

APÊNDICE V – GRÁFICO DE ANÁLISE DE PROCESSO DA FRESAGEM DE CS

Tabela 41. Gráfico de análise do processo de Fresagem de CS, da família E991 (1ª parte).

Etapa	Tempo (horas:min:seg) Início do projeto	Tempo (horas:min:seg) Fim da dissertação	Tempo (horas:min:seg) Fim do projeto	Local	Operação	Transporte	Inspeção	Espera	Armazenamento	Descrição	Tipo de atividade	Grupo de etapas
1	00:00:21	00:00:21	00:00:05	Carga CM-0006/14/20 → Mesa 3/4	○	➔	□	⊔	▽	Retirar ferramenta da caixa, e limpar com pano	Externa	Início de operações
2	00:00:22	00:00:22	00:00:00	Carga CM-0006/14/20	●	➔	□	⊔	▽	Verificar dados do desenho	Externa	
3	00:00:31	00:00:31	00:00:31	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Retirar aperto da ferramenta anterior	Interna	Troca de aperto
4	00:00:27	00:00:27	00:00:00	CM-0006/14/20 → Armário 1/2 → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Ir buscar aperto necessário	Externa	
5	00:00:51	00:00:51	00:00:51	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Colocar aperto	Interna	
6	00:00:13	00:00:13	00:00:13	CM-0006/14/20 → Armário 5 → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Ir buscar padrão	Interna	
7	00:00:21	00:00:21	00:00:21	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Colocar padrão na máquina	Interna	
8	00:00:10	00:00:10	00:00:10	Mesa 3/4 → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Colocar comparador na máquina	Interna	
9	00:00:13	00:00:13	00:00:13	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	○	➔	■	⊔	▽	Controlar batimento do aperto	Interna	
10	00:00:21	00:00:21	00:00:21	CM-0006/14/20 → Mesa 3/4 e Armário 5	○	➔	□	⊔	▽	Retirar padrão e comparador da máquina	Interna	
11	00:00:05	00:00:00	00:00:00	Carrinho/Mesa 4 →CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Colocar ferramenta 0 peça (apalpador), na máquina	Interna	
12	00:00:37	00:00:00	00:00:00	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Tirar 0 ao aperto com ferramenta 0 peça (apalpador)	Interna	
13	00:00:05	00:00:00	00:00:00	CM-0006/14/20 → Carrinho/Mesa 4	○	➔	□	⊔	▽	Retirar ferramenta 0 peça (apalpador) da máquina	Interna	Obter coordenadas da ferramenta
14	00:00:11	00:00:11	00:00:11	Mesa 3/4 → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Colocar ferramenta na máquina, com chave	Interna	
15	00:00:02	00:00:00	00:00:00	Mesa 3/4 → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Colocar nível na máquina	Interna	
16	00:00:36	00:00:00	00:00:00	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Indexar radialmente a ferramenta (tirar a0 à ferramenta)	Interna	
17	00:00:02	00:00:00	00:00:00	CM-0006/14/20 → Mesa 3/4	○	➔	□	⊔	▽	Retirar nível da máquina	Interna	
18	00:00:21	00:00:21	00:00:21	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Chamar programa para a máquina	Interna	Verificar/ Corrigir programa
19	00:06:34	00:04:01	00:00:00	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Verificar e corrigir programa	Externa	
20	00:00:21	00:00:11	00:00:00	CM-0006/14/20 → Carrinho → Zoller	○	➔	□	⊔	▽	Ir buscar ferramentas de maquinação e levá-las para medir	Externa	Medir ferramentas de maquinação
21	00:00:13	00:00:13	00:00:00	Zoller (Máquina de medição)	●	➔	□	⊔	▽	Trocar aperto da máquina de medição	Externa	
22	00:04:25	00:02:13	00:00:00	Zoller	●	➔	□	⊔	▽	Medir ferramentas e tirar etiqueta	Externa	
23	00:00:18	00:00:09	00:00:00	Zoller → CM-0006/14/20	○	➔	□	⊔	▽	Levar ferramentas de maquinação para a máquina	Externa	
24	00:01:31	00:01:31	00:01:31	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	●	➔	□	⊔	▽	Indicar comprimento das ferramentas de maquinação, na máquina	Interna	Trocar ferramentas de maquinação, na máquina
25	00:00:18	00:00:09	00:00:09	CM-0006/14/20 → Carrinho	○	➔	□	⊔	▽	Retirar ferramentas de maquinação da ferramenta anterior da máquina	Interna	
26	00:00:18	00:00:09	00:00:09	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	○	➔	□	⊔	▽	Colocar ferramentas de maquinação na torreta da máquina	Interna	
27	00:01:10	00:01:10	00:01:10	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020	○	➔	■	⊔	▽	Verificar estado das ferramentas de maquinação	Interna	

Tabela 42. Gráfico de análise do processo de Fresagem de CS, da família E991 (2ª parte).

28	00:00:10	00:00:10	00:00:10	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Preparar para começar a maquinar	Interna	Fresagem				
29	01:17:12	01:17:12	01:17:12	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Fresagem						
30	00:03:04	00:02:34	00:00:30	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Controlar operações de Fresagem (cabecinhos)	Interna					
31	00:00:46	00:00:46	00:00:46	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Verificar estado das ferramentas de maquinação	Interna	Controlar ferramenta				
32	00:00:17	00:00:17	00:00:17	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Verificar visualmente se ferramenta está conforme	Interna					
33	00:00:24	00:00:24	00:00:00	CM-0006/14/20 → Mesa 3/4 ou Soldadura →CM-		Ir buscar pastilhas padrão de teste/ bits	Externa					
34	00:01:00	00:01:00	00:01:00	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Verificar conformidade dos encaixes dos bits	Interna					
35	00:00:13	00:00:13	00:00:13	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Retirar ferramenta da máquina, com chave	Interna					
36	00:00:19	00:00:19	00:00:19	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Limpar ferramenta, com pistola de ar	Externa					
37	00:00:09	00:00:09	00:00:09	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Limpar aperto, com pistola de ar	Interna	Finalizar ferramenta				
38	00:00:28	00:00:11	00:00:11	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Verificar furos da ferramenta	Externa					
39	00:00:05	00:00:05	00:00:05	CM-0006/14/20 → Mesa 1/2		Levar ferramenta para mesa de trabalho	Externa					
40	00:00:11	00:00:11	00:00:11	Mesa 1/2 → CM-0006/14/20 → Mesa 1/2		Ir buscar lima e macho	Externa					
41	00:06:35	00:02:05	00:02:05	Mesa 1/2		Rebarbar ferramenta, na mesa de trabalho	Externa					
42	00:00:18	00:00:18	00:00:00	Mesa 1/2		Colocar a ferramenta no torno de bancada	Externa					
43	00:02:52	00:02:52	00:00:00	Mesa 1/2		Afundar a equilibragem	Externa					
44	00:00:04	00:00:04	00:00:00	Mesa 1/2 → CM-0006/14/20		Levar ferramenta para ser limpa	Externa					
45	00:00:14	00:00:14	00:00:00	CM-0006/ CM-0014/ CM-0020		Limpar ferramenta, com pistola de ar	Externa					
46	00:00:04	00:00:04	00:00:00	CM-0006/14/20 → Mesa 1/2		Levar ferramenta para ser aplicado óleo	Externa					
47	00:00:11	00:00:11	00:00:00	Mesa 1/2		Aplicar óleo	Externa					
48	00:00:10	00:00:10	00:00:00	Mesa 1/2		Colocar ferramenta na sua caixa, e dentro da caixa da OF	Externa	Fechar OF				
49	00:00:56	00:00:56	00:00:56	Mesa 1/2		Preencher checklist da OF	Externa					
50	00:00:07	00:00:07	00:00:00	Mesa 1/2 → PC		Ir ao computador, com caixa da OF	Externa					
51	00:00:14	00:00:14	00:00:00	PC		Picar caixa, no computador	Externa					
52	00:00:38	00:00:38	00:00:00	PC → PT Soldadura		Levar caixa ao PT seguinte	Externa					
53	00:00:01	00:00:01	00:00:00	PT Soldadura		Colocar caixa no PT seguinte	Externa					
Total (lote)	04:59:19	04:37:39	04:14:08	Setup		TS médio (1 ferramenta)	Setup interno (lote)	Setup interno médio (1 ferramenta)				
				Início do projeto	00:48:06	00:08:40	00:10:56	00:00:00	00:00:01	00:22:34	00:17:07	00:05:42
				Fim da dissertação	00:28:38	00:07:49	00:09:35	00:00:00	00:00:01	00:15:21	00:14:52	00:04:57
				Fim do projeto	00:11:44	00:03:17	00:07:31	00:00:00	00:00:00	00:07:31	00:12:48	00:04:16
				Atividades de valor acrescentado						TC (1 ferramenta)	Setup externo (lote)	Setup externo médio (1 ferramenta)
				Início do projeto	03:51:36					01:17:12	00:50:36	00:16:52
Fim da dissertação	03:51:36					01:17:12	00:31:11	00:10:24				
Fim do projeto	03:51:36					01:17:12	00:09:44	00:03:15				

APÊNDICE VI – DISTRIBUIÇÃO DOS PROBLEMAS, DO TORNEAMENTO E DA FRESAGEM, QUE LEVAM A PARAGEM DE MÁQUINAS

Tabela 43. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no TORN50.

Problema	Frequência relativa	Impacto na Disponibilidade	Frequência Acumulada
Setup	46,20%	22,22%	46,20%
Ocupação c/ outra máquina CNC	24,07%	11,57%	70,27%
Ocupação com TN-0020	10,08%	4,84%	80,35%
Manutenção da máquina	3,11%	1,50%	83,46%
Sem material de maquinação	2,24%	1,08%	85,70%
Retrabalho	2,22%	1,07%	87,92%
Problema c/ ferramenta de maquinação	1,81%	0,87%	89,73%
Operador ausente do PT	1,76%	0,85%	91,49%
Distração	1,69%	0,81%	93,18%
Verificar carga de trabalho	1,25%	0,60%	94,44%
Desorganização do PT (Procura por materiais)	1,24%	0,60%	95,68%
Reunião de troca de turno	1,03%	0,49%	96,71%
Manutenção do PT	0,63%	0,30%	97,33%
Discussão de problema c/ outro operador	0,59%	0,28%	97,92%
Controlar subcontratação	0,53%	0,26%	98,45%
Problema com Desenho (retirar dados do desenho)	0,50%	0,24%	98,95%
Esclarecer dúvida com CE	0,49%	0,24%	99,44%
Problema de Serragem	0,34%	0,16%	99,79%
Processo burocrático operador/empresa	0,21%	0,10%	100,00%
Total	100,00%	48,08%	

Tabela 44. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no FRES50.

Problema	Frequência relativa	Impacto na Disponibilidade	Frequência acumulada
Setup	52,22%	20,79%	52,22%
Problema com Programação	17,90%	7,13%	70,12%
Ocupação c/ outra máquina CNC	9,53%	3,80%	79,65%
Problema com máquina	7,66%	3,05%	87,32%
Discussão de problema c/ outro operador	3,94%	1,57%	91,26%
Retrabalho	3,72%	1,48%	94,97%
Problema c/ ferramenta de maquinação	1,61%	0,64%	96,58%
Distração	0,97%	0,39%	97,55%
Verificar carga de trabalho	0,60%	0,24%	98,14%
Discussão de problema c/ Supervisor de Produção	0,57%	0,23%	98,71%
Tratar de subcontratação	0,56%	0,22%	99,27%
Manutenção do PT	0,35%	0,14%	99,62%
Operador ausente do PT	0,28%	0,11%	99,90%
Manutenção da máquina	0,10%	0,04%	100,00%
Total	100,00%	39,82%	

Tabela 45. Distribuição dos problemas para paragens de máquinas, no FRAM50.

Problema	Frequência relativa	Impacto na Disponibilidade	Frequência acumulada
<i>Setup</i>	40,46%	24,33%	40,46%
Problema com Programação	28,78%	17,31%	69,24%
Ocupação c/ outra máquina	8,05%	4,84%	77,29%
Retrabalho	3,85%	2,31%	81,14%
Discussão de problema c/ Supervisor de Produção	3,75%	2,25%	84,89%
Tratar de ordens de compra/ subcontratação	2,96%	1,78%	87,85%
Ausência do PT	2,26%	1,36%	90,11%
Processo burocrático Operador/ Empresa	1,80%	1,08%	91,91%
Falta de material necessário	1,56%	0,94%	93,47%
Verificar carga de trabalho	1,54%	0,93%	95,01%
Discussão de problema c/ outro operador	1,44%	0,87%	96,46%
Problema com Desenho (Retirar dados do desenho)	1,39%	0,83%	97,84%
Desorganização do PT (Procura de materiais)	0,95%	0,57%	98,80%
Distração	0,70%	0,42%	99,50%
Problema com ferramenta de maquinação	0,46%	0,27%	99,96%
Manutenção do PT	0,04%	0,03%	100,00%
Total	100,00%	60,14%	

APÊNDICE VII – REGISTO DE TEMPOS DE MAQUINAÇÃO APÓS TÉRMINO DO TURNO, NA FRESAGEM

Tabela 46. Análise aos tempos de maquinação após término de turno, na Fresagem.

Dia de análise	Centro	Máquina	Tempo de maquinação após turno (min)	Dia de análise	Centro	Máquina	Tempo de maquinação após turno (min)	Dia de análise	Centro	Máquina	Tempo de maquinação após turno (min)
1	FRES50	CM-0006	0,00	11	FRES50	CM-0006	25,10	21	FRES50	CM-0006	170,50
		CM-0014	0,00			CM-0014	0,00			CM-0014	12,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	6,00			CM-0020	126,00
2	FRES50	CM-0006	0,00	12	FRES50	CM-0006	57,82	22	FRES50	CM-0006	41,20
		CM-0014	19,80			CM-0014	0,00			CM-0014	0,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	0,00			CM-0020	270,00
3	FRES50	CM-0006	0,00	13	FRES50	CM-0006	51,58	23	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	124,80			CM-0014	0,00			CM-0014	0,00
		CM-0020	96,00			CM-0020	6,00			CM-0020	160,00
4	FRES50	CM-0006	0,00	14	FRES50	CM-0006	52,02	24	FRES50	CM-0006	81,92
		CM-0014	60,00			CM-0014	0,00			CM-0014	210,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	0,00			CM-0020	306,00
5	FRES50	CM-0006	0,00	15	FRES50	CM-0006	32,68	25	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	28,20			CM-0014	19,80			CM-0014	0,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	0,00			CM-0020	0,00
6	FRES50	CM-0006	0,00	16	FRES50	CM-0006	42,85	26	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	0,00			CM-0014	0,00			CM-0014	44,40
		CM-0020	60,00			CM-0020	96,00			CM-0020	30,00
7	FRES50	CM-0006	0,00	17	FRES50	CM-0006	60,57	27	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	0,00			CM-0014	124,80			CM-0014	0,00
		CM-0020	30,00			CM-0020	0,00			CM-0020	0,00
8	FRES50	CM-0006	0,00	18	FRES50	CM-0006	0,00	28	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	0,00			CM-0014	0,00			CM-0014	30,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	0,00			CM-0020	0,00
9	FRES50	CM-0006	109,97	19	FRES50	CM-0006	0,00	29	FRES50	CM-0006	0,00
		CM-0014	183,00			CM-0014	0,00			CM-0014	0,00
		CM-0020	102,00			CM-0020	24,00			CM-0020	0,00
10	FRES50	CM-0006	0,00	20	FRES50	CM-0006	0,00	30	FRES50	CM-0006	51,00
		CM-0014	0,00			CM-0014	0,00			CM-0014	0,00
		CM-0020	0,00			CM-0020	114,00			CM-0020	12,00
	FRAM50	CM-0007	0,00		FRAM50	CM-0007	52,80		FRAM50	CM-0007	0,00

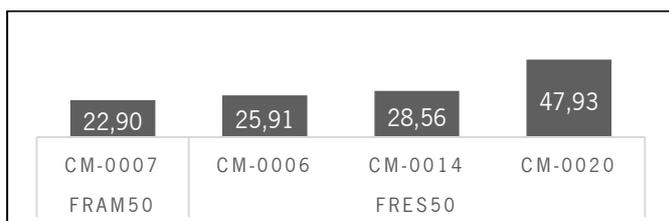


Figura 94. Média do tempo de maquinação após término do turno, por máquina, na Fresagem.

APÊNDICE VIII – DIAGRAMA DE SPAGHETTI DO CM

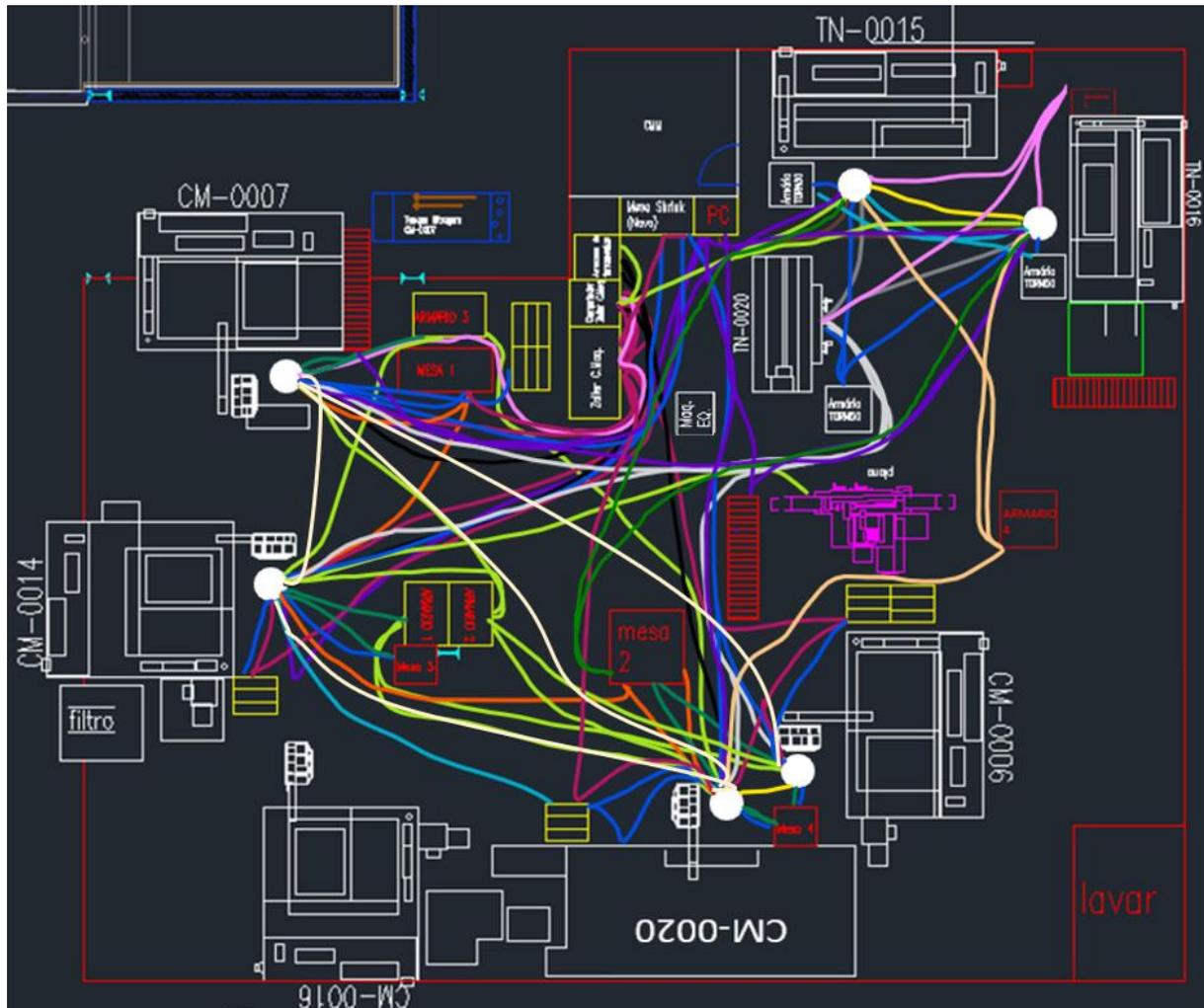


Figura 95. Diagrama de Spaghetti, das movimentações no CM, no início do projeto.

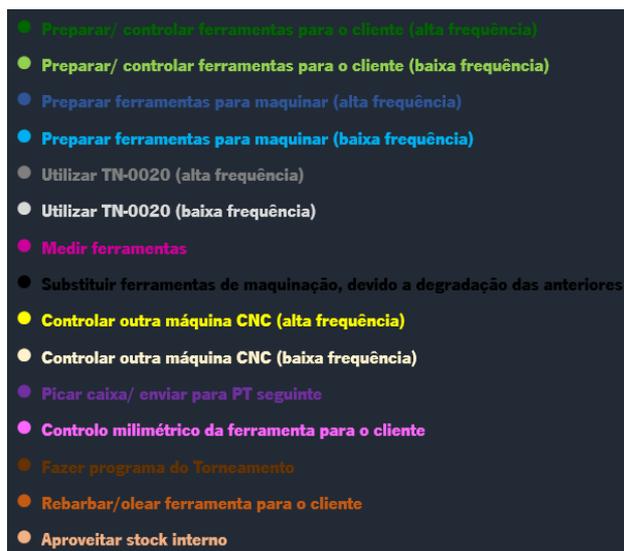


Figura 96. Legenda do diagrama de Spaghetti do CM, no início do projeto.

APÊNDICE IX – FOLHAS DE PREPARAÇÃO DE TRABALHO E PRIORIDADE DE ATUAÇÃO NAS MÁQUINAS DO TORNEAMENTO

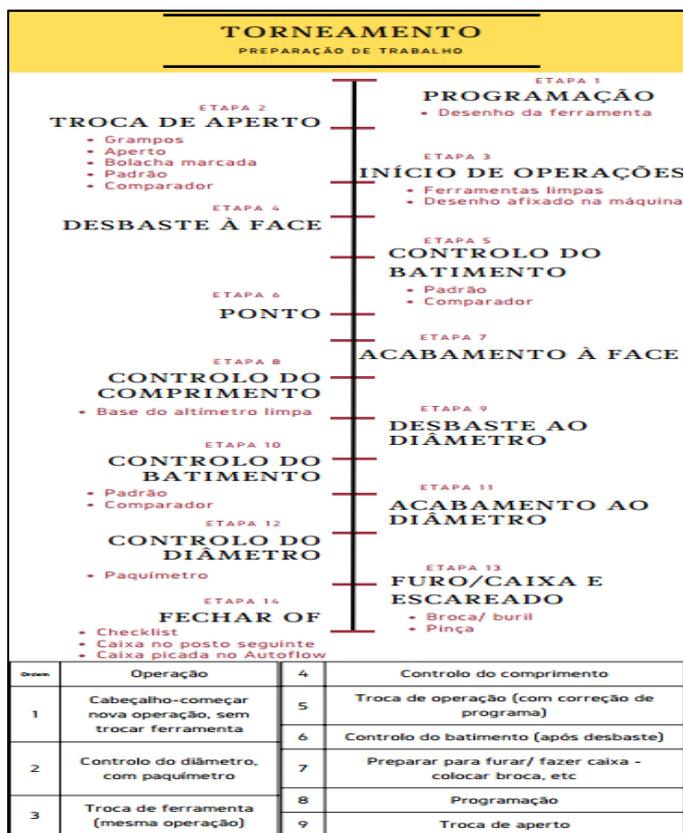


Figura 97. Documento de preparação de trabalho, e prioridade de atuação nas máquinas de Torneamento.

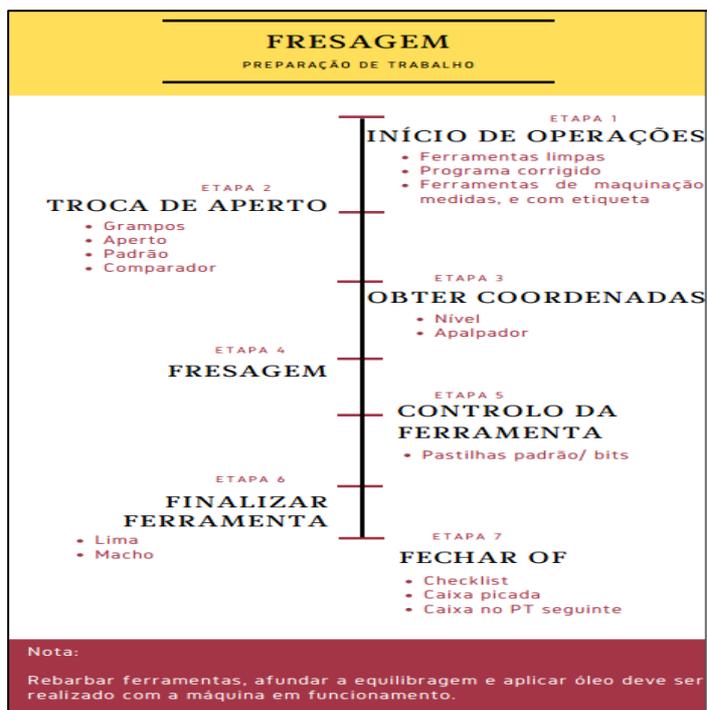


Figura 98. Documento de preparação de trabalho para a Fresagem.

APÊNDICE X – LS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS CRIADOS AO LONGO DO PROJETO

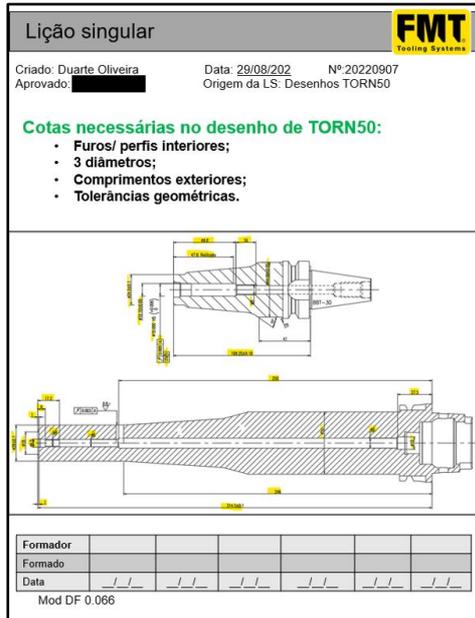


Figura 99. LS criada para envio de cotas necessárias pelo Dpt de Desenho.

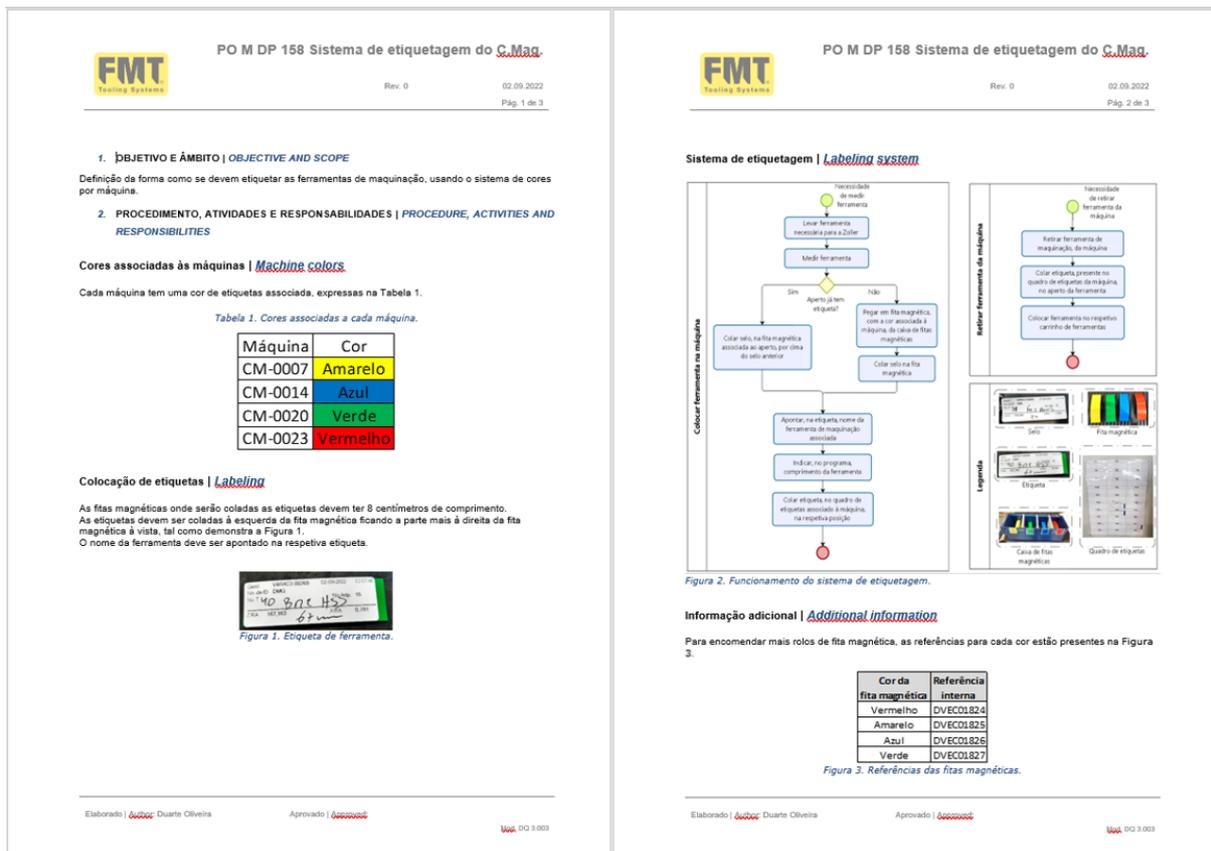


Figura 100. Procedimento operacional criado para implementação do novo sistema de etiquetagem.

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 1 de 3

1. OBJETIVO E ÂMBITO | OBJECTIVE AND SCOPE
Cálculo do indicador disponibilidade no Centro de **Tratamento** - TORRENS, FRESNO e FRAMISO.

2. PROCEDIMENTO, ATIVIDADES E RESPONSABILIDADES | PROCEDURE, ACTIVITIES AND RESPONSIBILITIES

Registo de tempos pelos operadores | Time recording by operators

Em cada máquina, existe uma folha para registo de tempos, semelhante à da Figura 1, onde, a ser visto, é apresentado um exemplo de preenchimento.

Note, o operador afeto a cada máquina deve registar todos os dados:

- O tempo de manutenção total de máquina no início de turno, ou seja, quando vai começar a trabalhar;
- O tempo de manutenção total de máquina no fim de turno, ou seja, quando a máquina fica sem qualquer afeto a ele;
- O horário de início de turno e o operador responsável por iniciar o período de manutenção de máquina;
- O horário de fim de turno e o operador com a qual a máquina deixa de ter qualquer afeto a ele nesse dia.

Adicionalmente, caso ocorram problemas com impacto direto na paragem de máquinas, os operadores devem registar os tempos de paragem de máquinas, resultantes desses problemas.

Figura 1. Exemplo de folha de registo de tempos de manutenção cobrada nas máquinas.

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 2 de 3

Nota importante:

Para saber onde verificar os tempos totais de manutenção das máquinas, os operadores devem verificar a sua 4.ª coluna na folha para a máquina onde registar esse dado, sendo que, na Tabela 1, é apresentada a informação presente em cada máquina, que indica onde devem ser retirados os tempos de máquina.

Tabela 1. Informação de registo de tempos em cada máquina

Máquina	Dado de tempo
TM-0015	Run Time
TM-0016	Temp Trap
CM-0006	Time of Care enabled
CM-0007	Time of Care enabled
CM-0014	3
CM-0020	Tempo Processamento

No caso do TORRENS, o processo difere ligeiramente, devido à ocorrência de turnos. Nesse caso, o operador afeto ao 1º turno (08-16h) é o responsável por registar os tempos de manutenção no início e no fim do respetivo turno. O operador do 2º turno não é responsável por registar tempos.

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 3 de 3

Inserção dos tempos na Dashboard de Disponibilidade | Use of Availability Dashboard

O processo de análise de dados de disponibilidade presentes na **Dashboard** contempla vários processos:

- 1. Recolha dos dados semanais**

O colaborador responsável pela atualização da **dashboard** de disponibilidade deve recolher os tempos presentes nas folhas afetas às máquinas, no início de todas as semanas, para que os operadores que preenchem os dados tenham a folha novamente livre para preenchimento dos dados de nova semana.

- 2. Inserção dos dados na tabela da Dashboard**

2.1. Dados sobre Torneamento

No preenchimento da tabela afeta aos dados do Torneamento, presente na folha "Tabela_23" do Excel, os dados inseridos devem seguir os critérios definidos na Tabela 2.

Tabela 2. Preenchimento da tabela sobre o Torneamento.

Dado	Fonte
Semana	14/03/2022-20/03/2022
Estado semana	100% (Seg - 100%)
Dia	Preenchimento manual (20/03/2022)
De	14/03/2022 (14/03/2022-20/03/2022) 01
Até	100% (Seg - 100%)
Ass	100% (Seg - 100%)
Turno	Preenchimento manual (20/03/2022)
Operador	Preenchimento manual (20/03/2022)
Código	TORRENS
Máquina	Preenchimento manual (14/03/2022-20/03/2022)
Tempo total de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo total de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Tempo final de manutenção (min) - Tempo final de manutenção (min)
Tempo disponível de turno (min)	420
Avaliação máquina (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo disponível (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 4 de 3

Dados sobre Fresagem

No preenchimento da tabela afeta aos dados da Fresagem, presente na folha "Tabela_24" do Excel, os dados inseridos devem seguir os critérios definidos na Tabela 3.

Tabela 3. Preenchimento da tabela sobre a Fresagem.

Dado	Fonte
Semana	14/03/2022-20/03/2022
Estado semana	100% (Seg - 100%)
Dia	Preenchimento manual (20/03/2022)
De	14/03/2022 (14/03/2022-20/03/2022) 01
Até	100% (Seg - 100%)
Ass	100% (Seg - 100%)
Turno	Fresagem
Máquina	Preenchimento manual (CM-0006, CM-0007, CM-0014, CM-0020, etc.)
Tempo total de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo total de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Tempo final de manutenção (min) - Tempo final de manutenção (min)
Tempo disponível de turno (min)	Tempo final de manutenção (min) - Tempo final de manutenção (min)
Tempo disponível de turno (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de turno (min)	420 (01 de turno (01 - início de turno (01:00))
Avaliação máquina (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo disponível (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)
Tempo de manutenção (min)	Preenchimento manual (Tempo disponível na folha)

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 5 de 3

Após a inserção dos novos dados, devem atualizar-se todas as tabelas dinâmicas, selecionando-se as folhas que foram atualizadas das tabelas, nas folhas "TD_1N" e "TD_2N" do Excel, tal como ilustra a Figura 2.

- 1. Selecionar tabelas dinâmicas, e selecionar "Alterar Origem de Dados"**

Figura 2. Atualização de dados de disponibilidade, nas tabelas dinâmicas.

FMT PO gzz... - Disponibilidade do CM

Rev. 0 02.03.2022
Pag. 6 de 3

Análise da Dashboard de Disponibilidade | Availability Dashboard Analysis

Falta a recolha dos dados e a atualização das tabelas dinâmicas, estes estão prontos para análise, nas folhas "Análise_23" e "Análise_24" do Excel.

Análise ao Torneamento

Relativamente ao Torneamento, podem-se avaliar dois conteúdos essencialmente: a disponibilidade das máquinas e as causas principais para as paragens dadas.

Análise à Fresagem

Relativamente à Fresagem, podem-se avaliar a disponibilidade das máquinas, o tempo de máquina após o término de turno e, ainda, as causas principais para as suas paragens.

3. Revisões

Nº	Data	Alteração Justificação
0	30.08.2022	Preparação inicial Initial setting

Figura 101. Procedimento operacional para recolher tempos de maquinação, e registar no dashboard de disponibilidade.

APÊNDICE XI – MATRIZ DE COMPETÊNCIAS PARA O PRE-SETTING

Tabela 47. Matriz de competências para pre-setting.

Máquina	Competência	Operador	Tipo	Fator	Torneamento		Fresagem			
					Operador 1	Operador 2	Capitão de Equipa	Operador 3	Operador 4	Operador 5
TN-0015	Fazer programa				3	3	0	1	0	0
	Trocar aperto	P	1		3	3	1	2	0	2
	Controlar cotas				3	3	1	1	0	1
TN-0016	Fazer programa				3	3	0	1	0	0
	Trocar aperto	P	1		3	3	1	2	0	2
	Controlar cotas				3	3	1	1	0	1
TN-0020	Desempenar ferramenta	P	2		3	3	3	3	3	2
	Furar cones	P	2		3	3	3	3	3	2
	Polir cones	P	2		3	3	3	3	3	3
CM-0006	Verificar programa	P	3		0	0	3	3	3	0
	Trocar aperto	P	4		0	1	3	3	3	1
	Medir ferramentas	P	4		0	1	3	3	3	0
CM-0014	Verificar programa	P	3		0	0	3	3	3	0
	Trocar aperto	P	4		0	1	3	3	3	1
	Medir ferramentas	P	4		0	1	3	3	3	0
CM-0020	Verificar programa	P	3		0	0	0	3	0	0
	Trocar aperto	P	4		0	0	0	3	0	0
	Medir ferramentas	P	4		0	1	3	3	3	0
CM-0007 (APM)	Verificar programa	P	3		0	0	3	0	2	0
	Trocar aperto	P	4		0	0	3	3	3	0
	Medir ferramentas	P	4		0	0	3	1	2	0
	Controlar medidas da ferramenta				0	0	3	0	1	0
Geral	Rebarbagem	P	2		3	3	3	3	3	3
	Requisitar ferramentas no armário automático	P	4		2	2	3	2	2	0
	Picar caixa da OF	P	3		3	3	3	3	3	2
	Afundar furos/ fazer roscas	P	2		3	3	3	3	3	3
	Shrinkar ferramenta	P	4		0	3	3	3	3	0
Capacidade de preparação					53	85	176	178	163	44

Legenda	
Nível de competência	
0	Nenhum conhecimento.
1	Pouco conhecimento.
2	Algo conhecimento.
3	Muito conhecimento.
Coefficiente	
1	Poderá ser importante a longo prazo.
2	Poderá ser importante a curto prazo.
3	Algo importante.
4	Muito importante.
P	Etapa preparatória

Figura 102. Legenda da matriz de competências para pre-setting.

APÊNDICE XII – BPMN DO PROCESSO INERENTE AO *PRE-SETTING*

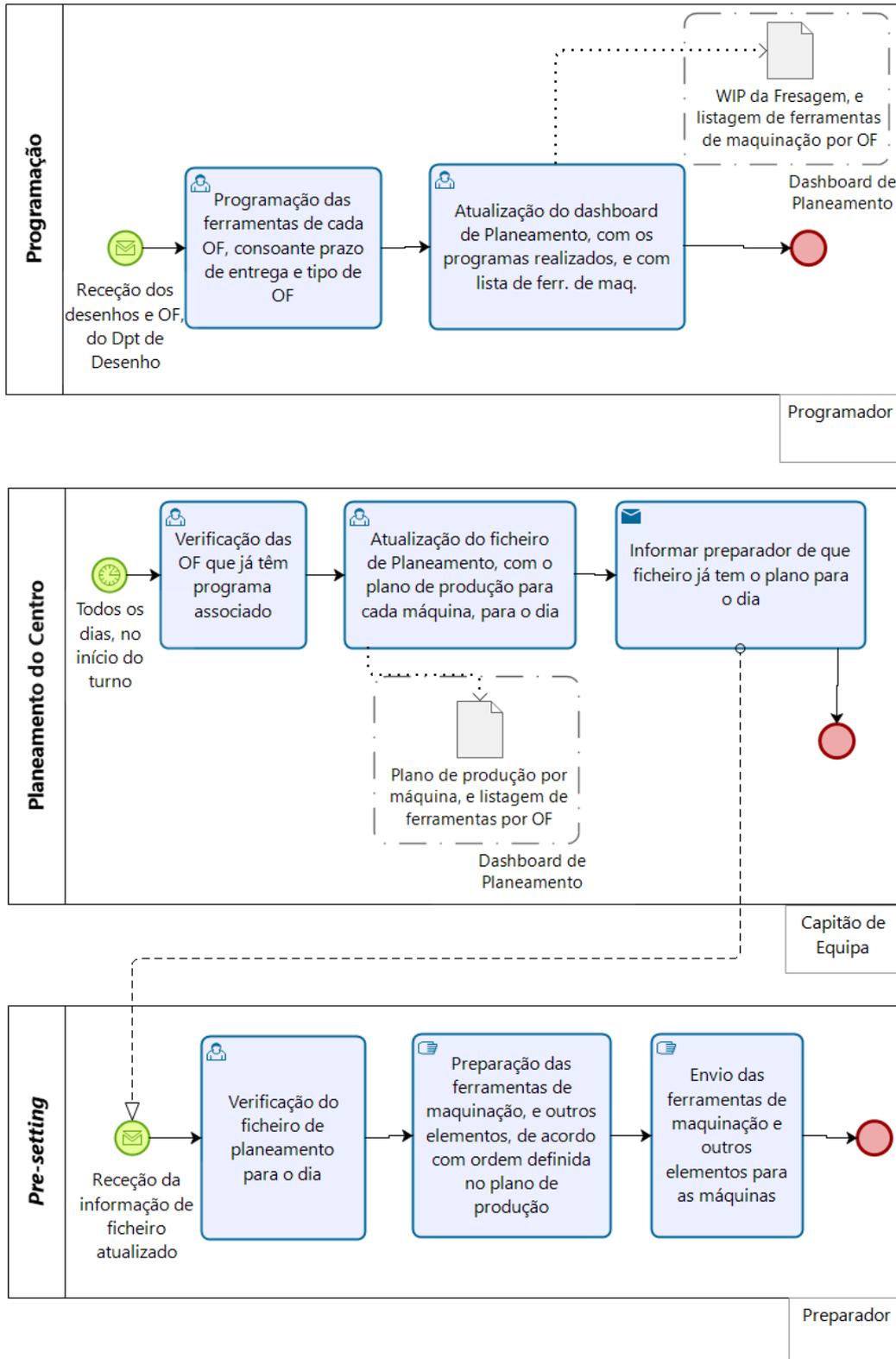


Figura 103. BPMN do processo inerente ao *pre-setting*.

APÊNDICE XIII – GANHOS OBTIDOS, NO TC DO TORNEAMENTO, COM A ALTERAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MAQUINAÇÃO

Tabela 48. Ganhos de TC do Torneamento obtidos com alteração de estratégia de maquinação.

Referência	TC (min)			
	Antes	Diminuição	Depois	Diferença percentual
E991.3636	46,47	6,42	40,05	-13,81%
E991.8120	89,14	12,50	76,64	-14,02%
E991.10663	54,94	0,00	54,94	0,00%
E991.10664	35,12	0,00	35,12	0,00%
E991.0013	21,77	0,00	21,77	0,00%
E991.0766	28,72	0,00	28,72	0,00%
E991.1436	40,99	9,50	31,49	-23,18%
E991.3735	47,62	7,50	40,12	-15,75%
E991.99787	24,46	0,00	24,46	0,00%
E991.13690	66,86	14,00	52,86	-20,94%
E991.13572	27,37	4,50	22,87	-16,44%
E991.13562	37,66	7,50	30,16	-19,92%
E991.13099	53,62	18,00	35,62	-33,57%
E991.13097	25,71	5,53	20,17	-21,52%
E991.10696	25,32	0,00	25,32	0,00%
E991.10497	38,66	6,50	32,16	-16,81%
E991.10089	20,47	3,00	17,47	-14,65%
E991.10076	23,47	0,00	23,47	0,00%
E991.10002	40,21	0,00	40,21	0,00%
E991.9992	54,37	0,00	54,37	0,00%
E991.9932	27,76	0,00	27,76	0,00%
E991.9814	42,09	0,00	42,09	0,00%
E991.8512	46,49	6,50	39,99	-13,98%
E991.8506	32,22	0,00	32,22	0,00%
E991.8269	15,14	0,00	15,14	0,00%
E991.3216	55,19	12,00	43,19	-21,74%
E991.3209	44,06	10,67	33,39	-24,21%
E991.10419	32,57	0,00	32,57	0,00%
E991.10484	19,99	0,00	19,99	0,00%
E991.5840	48,42	10,50	37,92	-21,68%
E991.10592	44,81	0,00	44,81	0,00%
E991.10646	58,02	16,00	42,02	-27,58%
E991.10466	51,94	11,50	40,44	-22,14%
Média	40,05	4,91	35,14	-12,27%

APÊNDICE XIV – GANHOS ESTIMADOS NOS INDICADORES DO TORNEAMENTO, PARA CADA MELHORIA

Tabela 49. KPI do TORN50, no início do projeto.

Início do projeto	
Disponibilidade	51,92%
Output médio diário (Quantidade)	27,19
Output médio diário (Valor)	14 131,06 €
Tempo de ciclo (min)	40,05
Produtividade (€/h.H)	883,19

Tabela 50. Ganhos estimados nos indicadores do TORN50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.

Melhoria	Influência, no início do projeto				Ganho						
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Tempo de grupo de op. (min)	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	Novo tempo do grupo de op. (min)	Disp. (%)	TC (min)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)	Produti- vidade (€/h.H)
Priorização de atuação em máquinas	Ocupação com outra máquina CNC			11,57%	10,00%		1,16%		0,61	314,90 €	19,68
Mecanismo de limpeza dos apertos das máquinas	Limpar ferramenta e aperto, com pistola de ar	Troca de ferramenta (mesma operação)	10,10	3,05%		8,30	0,54%		0,28	147,94 €	9,25
	Ocupação com TN-0020			4,84%	10%		0,48%		0,25	131,73 €	8,23
Reformulação de envio de cotas, pelo Desenho	Problema com Desenho			0,24%	100%		0,24%		0,13	65,32 €	4,08
	Verificar dados do desenho	Troca de ferramenta (diferente OF)	5,20	2,42%		4,57	0,29%		0,15	80,22 €	5,01
Organização do "tapete" de carga	Verificar carga de trabalho			0,60%	48%		0,29%		0,15	78,38 €	4,90
Folha de preparação de trabalho		Atividades externas		3,75%	60%		2,25%		1,18	612,38 €	38,27
Correção do programa, no PC	Chamar operação, no programa	Troca de operação (mesma OF)	4,35	3,05%		3,22	0,79%		0,42	216,28 €	13,52
Conceção e correção de macros para programação	Fazer programa, e enviá-lo para a máquina	Corrigir programa	5,98	0,47%		4,07	0,15%		0,08	40,98 €	2,56
Organização da gaveta das brocas e das pinças	Desorganização do PT			0,60%	100%		0,60%		0,31	163,30 €	10,21
	Procurar broca e pinça	Troca de ferramenta de maquinação	1,92	2,20%		1,52	0,46%		0,24	124,96 €	7,81
Colocação de régua na TN-0020, para desenhos cortados	Ocupação com TN-0020			4,84%	5%		0,24%		0,13	65,87 €	4,12
Alteração da estratégia de maquinação								4,91	3,80	1 974,49 €	123,41
Fim da dissertação											
Ganhos estimados							7,50%	4,91	7,73	4 016,75 €	251,05
Indicadores estimados							59,42%	35,14	34,92	18 147,81 €	1134,24

Tabela 51. Ganhos estimados nos indicadores do TORN50, para cada melhoria futura.

Melhoria	Influência, no fim da dissertação					Ganho					
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Tempo de grupo de op. (min)	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	Novo tempo do grupo de op. (min)	Disp. (%)	TC (min)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)	Produti- vidade (€/h.H)
Colocação de acessório de troca de ferramentas, na TN-0020		Troca de ferramenta (mesma operação)		2,51%	15%		0,38%		0,20	102,33 €	6,40
Substituição do tapete de extração da TN-0015	Manutenção da máquina			3,11%	67,21%		2,09%		1,09	568,90 €	35,56
Troca de <i>spindle</i> da máquina		Troca de aperto	11,40	2,76%		7,20	1,02%		0,53	276,75 €	17,30
Programação de Torneamento no Dpt de Programação	Programação	Verificar se há programa + Preparar desenho, no PC + Fazer programa, no PC + Corrigir programa		1,65%	100%		1,65%		0,86	448,93 €	28,06
Furação afeta a operadores da Fresagem	Ocupação com TN-0020			4,11%	100%		4,11%		2,15	1 119,71 €	69,98
Melhorias futuras											
Ganhos estimados							9,25%	0	4,84	2 516,61 €	157,29
Indicadores estimados							68,67%	35,1	39,76	20 664,42 €	1291,53

APÊNDICE XV – GANHOS ESTIMADOS NOS INDICADORES DA FRESAGEM, PARA CADA MELHORIA

Tabela 52. KPI do FRES50, no início do projeto.

Início do projeto	
Disponibilidade	60,18%
Output médio diário (Quantidade)	23,12
Output médio diário, sem TMATT (Quantidade)	21,79
Output médio diário (Valor)	11 673,52 €
Output médio diário, sem TMATT (Valor)	11 003,86 €
Tempo de ciclo (min)	77,20
Tempo médio diário de maquinação, após turno (min)	34,13

Tabela 53. KPI do FRAM50, no início do projeto.

Início do projeto	
Disponibilidade	39,86%
Output médio diário (Quantidade)	3,11
Output médio diário, sem TMATT (Quantidade)	2,78
Output médio diário (Valor)	1 973,82 €
Output médio diário, sem TMATT (Valor)	1 763,82 €
Tempo de ciclo (min)	69,21
Tempo médio diário de maquinação, após turno (min)	22,90

Tabela 54. Ganhos estimados nos indicadores do FRES50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.

Melhoria	Influência, no início do projeto				Ganho					
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Tempo de grupo de op. (min)	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	Novo tempo do grupo de op. (min)	TMATT (min)	Disp. (%)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)
Macro dos patins, na Programação	Problema com Programação			7,13%	5%			0,36%	0,13	65,19 €
Contratação de novo funcionário	Verificar carga de trabalho			0,24%	90,00%			0,22%	0,08	39,50 €
	Discussão de problema c/ Supervisor de Produção			0,23%	100,00%			0,23%	0,08	42,06 €
	Tratar de subcontratação			0,22%	100,00%			0,22%	0,08	40,23 €
Folha de preparação de trabalho		Operações externas		7,04%	15%			1,06%	0,38	193,09 €
Eliminação do processo de obtenção de coordenadas	Obter coordenadas da ferramenta	Troca de ferramenta - nova OF	6,53	4,77%		5,08		1,06%	0,38	193,57 €
Verificação dos furos de lubrificação com lanterna	Verificar furos da ferramenta, com pistola de ar	Finalizar ferramenta	11,20	1,53%		10,92		0,04%	0,01	7,08 €
Sistema de etiquetagem	Ir buscar ferramentas + Medir ferramentas e tirar etiqueta	Medir ferramentas de maquinaçã o	5,28	1,13%		2,77		0,54%	0,19	98,42 €
	Retirar ferramentas de maquinação + Colocar ferramentas de maquinação	Trocar ferramentas de maquinaçã o	3,28	1,94%		2,98		0,18%	0,06	32,41 €
Base de dados com posições e velocidades <i>standard</i>	Verificar e corrigir programa	Verificar/ Corrigir programa	6,92	3,90%		4,37		1,44%	0,52	262,91 €
	Cabeçalhos	Cabeçalhos	3,07	0,91%		2,57		0,15%	0,05	27,13 €
Rebarbagem interna	Rebarbar ferramenta, na mesa de trabalho	Finalizar ferramenta	11,20	1,53%		6,70		0,61%	0,22	112,40 €
Substituição da CM-0006	Problema com máquina			3,05%	71,28%			2,17%	0,79	397,52 €
Fim da dissertação										
Ganhos estimados							0	8,27%	2,99	1 511,49 €
Indicadores estimados							34,13	68,45%	26,11	13 185,01 €

Tabela 55. Ganhos estimados nos indicadores do FRES50, para cada melhoria futura.

Melhoria	Influência, no fim da dissertação				Ganho						
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Tempo de grupo de op. (min)	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	Novo tempo do grupo de op. (min)	TMATT (min)	Disp. (%)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)	
Sistema de Pre-setting	Retirar ferramenta da caixa + Verificar desenho + Ir buscar aperto	Troca de ferramenta - nova OF	5,08	3,71%		3,47		1,18%	0,43	215,82 €	
	Medir ferramentas de maquinação	Medir ferramentas de maquinação	2,77	0,59%		0		0,59%	0,21	108,20 €	
	Ir ao computador + Picar caixa + Levantar caixa ao PT seguinte + Colocar caixa no PT seguinte	Fechar OF	1,93	0,49%		0,93		0,25%	0,09	46,34 €	
	Controlar ferramenta	Controlar cotas ou encaixes	5,23	1,72%		4,83		0,13%	0,05	24,04 €	
	Cabeçalhos	Cabeçalhos	2,57	0,76%		1,98		0,17%	0,06	31,65 €	
	Problemas com Programação			6,77%	50%			3,39%	1,23	619,26 €	
	Macros na Programação	Problemas com Programação		6,77%	15%			1,02%	0,37	185,78 €	
Ferramentas de maquinação indicadas pelo nome	Verificar/Corrigir programa	Verificar/Corrigir programa	4,37	2,46%		0,35		2,26%	0,82	414,12 €	
	Cabeçalhos	Cabeçalhos	2,57	0,76%		1,08		0,44%	0,16	80,48 €	
Formação aos operadores de Fresagem, nas máquinas CNC	Problemas com Programação			6,77%	20%			1,35%	0,49	247,71 €	
Programa do planeamento, para otimização do TMATT							43,07		1,67	845,07 €	
Melhorias futuras											
Ganhos estimados							43,07	10,79%	5,58	2 818,48 €	
Indicadores estimados							77,20	79,24%	31,70	16 003,49 €	

Tabela 56. Ganhos estimados nos indicadores do FRAM50, para cada melhoria implementada até ao final da dissertação.

Melhoria	Influência, no início do projeto			Ganho				
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	TMATT (min)	Disp. (%)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)
Macro dos patins, na Programação	Problema com Programação		17,31%	10%		1,73%	0,12	76,60 €
Contratação de novo funcionário	Verificar carga de trabalho		0,93%	90%		0,84%	0,06	37,04 €
	Discussão de problema c/ Supervisor de Produção		2,25%	100%		2,25%	0,16	99,56 €
	Tratar de ordens de compra/ subcontratação		1,78%	100%		1,78%	0,12	78,77 €
Eliminação do processo de obtenção de coordenadas		Tirar 0 à peça/aperto	1,10%	100%		1,10%	0,08	48,68 €
Verificação dos furos de lubrificação com lanterna		Verificar estado da ferramenta do cliente	0,56%	10,00%		0,06%	0,00	2,48 €
Sistema de etiquetagem		Medir ferramentas de maquinação	2,10%	47,17%		0,99%	0,07	43,83 €
		Trocar ferramentas de maquinação, na máquina	4,04%	47,17%		1,91%	0,13	84,33 €
Base de dados com posições e velocidades standard		Verificar/ Corrigir programa	3,15%	15%		0,47%	0,03	20,91 €
		Cabeçalhos	0,66%	15%		0,10%	0,01	4,38 €
Rebarbagem interna		Rebarbar ferramenta	0,31%	70%		0,22%	0,02	9,60 €
Fim da dissertação								
Ganhos estimados					0	11,44%	0,80	506,17 €
Indicadores estimados					22,90	51,30%	3,91	2 479,99 €

Tabela 57. Ganhos estimados nos indicadores do FRAM50, para cada melhoria futura.

Melhoria	Influência, no fim da dissertação			Ganho				
	Operação/ Problema	Grupo de operações	Perda de Disp.	% Tempo de op. ou problema eliminada	TMATT (min)	Disp. (%)	Output diário (Qtd)	Output diário (Valor)
Sistema de Pre- setting		Verificar dados do desenho	0,16%	100%		0,16%	0,01	7,08 €
		Trocar aperto da máquina	2,26%	25%		0,57%	0,04	25,00 €
		Trocar ferramentas de maquinação, no aperto	2,11%	100%		2,11%	0,15	93,37 €
		Medir ferramentas de maquinação	1,11%	100%		1,11%	0,08	49,09 €
		Cabeçalhos	0,56%	20%		0,11%	0,01	4,96 €
		Verificar estado da ferramenta para o cliente	0,56%	100%		0,56%	0,04	24,78 €
		Problemas com Programação		50,00%	15,58%		7,79%	0,54
Macros na Programação	Problemas com Programação		30,00%	15,58%		4,67%	0,33	206,81 €
Ferramentas de maquinação indicadas pelo nome		Verificar/ Corrigir programa	2,68%	90%		2,41%	0,17	106,63 €
		Cabeçalhos	0,56%	20%		0,11%	0,01	4,96 €
Formação aos operadores de Fresagem, nas máquinas CNC	Problemas com Programação		10,00%	15,58%		1,56%	0,11	68,94 €
Programa do planeamento, para otimização do TMATT					46,31		0,67	424,67 €
Melhorias futuras								
Ganhos estimados					46,31	21,16%	2,14	1 361,00 €
Indicadores estimados					69,21	72,46%	6,05	3 840,99 €

APÊNDICE XVI – EVOLUÇÃO DO *OUTPUT* MÉDIO DIÁRIO DO FRES50 E DO FRAM50, ATÉ AO FINAL DA DISSERTAÇÃO



Figura 104. Evolução do output médio diário do FRES50, até ao final da dissertação.

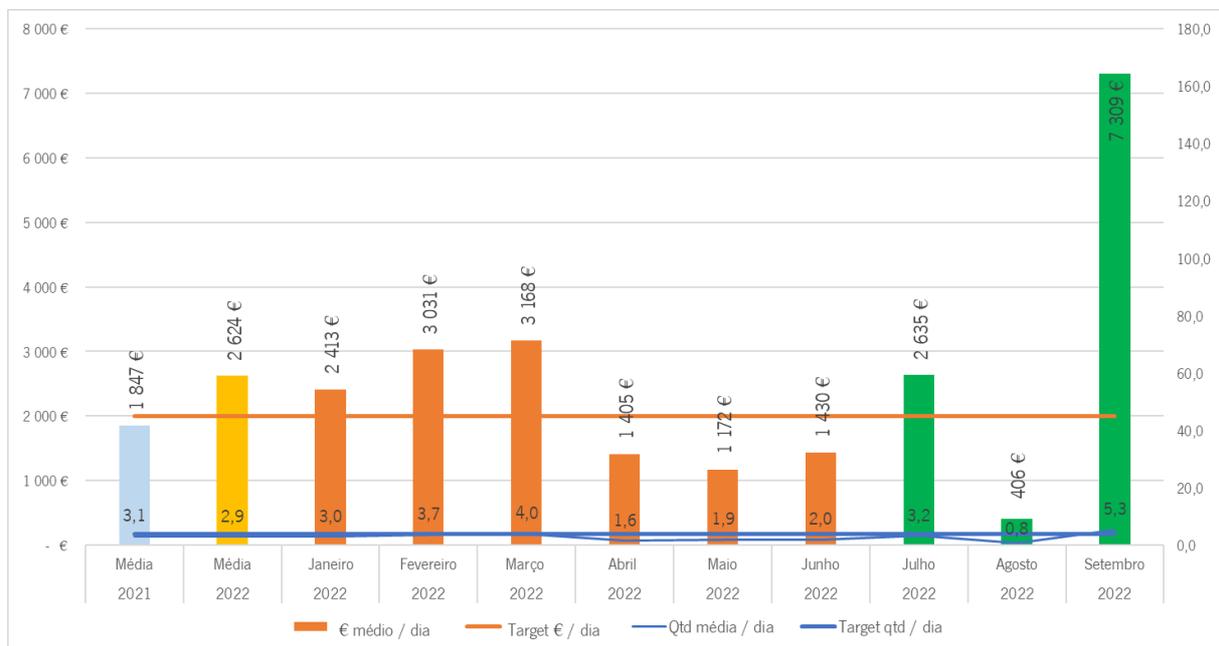


Figura 105. Evolução do output médio diário do FRAM50, até ao final da dissertação.