



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Madalena de Sande Ribeiro de Magalhães Cardoso

**IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL E AMBIENTAL
DA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA
SMED NUMA INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO E
MAQUINAGEM**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo de Produção e Projeto, orientada pelo Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2021

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Impacto Económico, Social e Ambiental da Implementação da Metodologia SMED numa Indústria de Fundição e Maquinagem

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Produção e Projeto.

Economic, Social and Environmental Impact of SMED Methodology Implementation on a Casting and Machining Industry

Autor

Madalena de Sande Ribeiro de Magalhães Cardoso

Orientadores

**Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes
Ferreira**

Engenheira Carolina Aparício

Júri

Presidente	Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso Professor da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Cristóvão Silva Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira
Orientador	Professor da Universidade de Coimbra Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira Professor da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Kaizen Institute

Coimbra, outubro, 2021

“Despite a tendency to assume that something can't be done, we find an unexpectedly large number of possibilities when we give some thought to how it might be possible to do it.”

Shingo Shigeo

À minha família, amigos e professores que marcaram o meu percurso
académico.

Agradecimentos

O culminar da presente Dissertação marca o término da aventura na qual – sem estar certa do porquê – embarquei há cinco anos. Quem me conhece sabe que considero o ato de agradecimento muito importante. Assim sendo, irei utilizar este espaço para tecer agradecimentos a todos os que mais marcaram o meu percurso académico, que termina em outubro de 2021 e marca o início do próximo capítulo da minha vida.

Ao Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes, pela ajuda, pela paciência, pela confiança e pelo apoio técnico e científico.

À Universidade de Coimbra, em especial ao Departamento de Engenharia Mecânica e aos respetivos Docentes e Funcionários pela disponibilidade, pela colaboração e pela aprendizagem.

Aos meus Colegas de ano, destacando o Diogo, Joana, Beatriz, Maria, Gabriela, Filipa e Ritas por todas as vivências, momentos académicos e pelo crescimento conjunto.

Ao BEST, aos seus membros e ao All aBoard pela confiança, pelos ensinamentos, pela diversão e pelo BEST Spirit.

Aos meus companheiros de ERASMUS Caterina, Adam, Caio, Fabio, Sandor, José, António, Pedro, Carlota e Martin, por me tirarem da zona de conforto e pelas incríveis experiências vividas em Budapeste.

Ao Instituto Kaizen, pela fantástica oportunidade e pelo desenvolvimento profissional e pessoal que está a incutir em mim. À Equipa Arroz de Tomate, especialmente ao André Pinho, pela exigência de entrega e liderança. Aos restantes Colegas da Equipa, pelo apoio e companheirismo. À Carolina Aparício pela mentoria, pelos ensinamentos e pela vontade de ver os outros crescer. Aos seus Clientes, especialmente à Empresa A, pela cooperação e confiança.

A todos os verdadeiros Engenheiros e Gestores (alguns dos quais sem o merecido Diploma) que indubitavelmente inspiraram o meu trabalho: o Avô

Alípio, o Avô Eduardo, a Mãe Júlia, o Pai António, o Tio José Pedro, o Tio Tecas, o Manel e a Mafalda.

À minha Mãe, por sempre acreditar em mim, por me ter debaixo da sua asa e por amparar as minhas maiores quedas.

Ao meu Pai, pelo carinho e pela exigência que me incutiu ao longo do percurso académico e pela forte ajuda no desenvolver deste trabalho.

Aos meus Irmãos. À Margarida por ser um exemplo, cuja fé toca até os menos crentes. À Mafalda pela cumplicidade e por me incentivar, desde cedo, a ser proativa. Ao Manel por ter o grande coração que tem e pela proteção que me dá, mesmo à distância. Aos apegadiços André e Nuno pela companhia e gargalhadas. Às Patudas Matilde, Maurícia e Marcela, pela companhia nas horas mais difíceis.

À Família Estrelinha e aos meus Avós, pela sua presença no meu percurso académico.

Ao Gonçalo, por me acompanhar nesta jornada desde o início. Pela presença nos bons e nos maus momentos, pelo foco que me incutiu e pelo exemplo – dado logo desde cedo – de que o trabalho árduo recompensa.

À Família do Gonçalo, pela companhia, preocupação e por serem bons ouvintes.

Às minhas Amigas Filipa, Joana, pela presença, pela preocupação e pelos bons momentos.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para o culminar do meu percurso académico.

Resumo

As indústrias que foram outrora concebidas para fabricar grandes lotes do mesmo produto foram obrigadas a transformar os seus processos para se adaptarem à procura de lotes pequenos de produtos diversificados e personalizáveis. A Empresa A – produtora de torneiras – foi uma das indústrias impactadas por esta mudança de paradigma. No processo produtivo, que envolve cinco etapas, a primeira etapa apresentava tempos de *setup* com durações de cerca de sete horas. Foi aplicada a metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED) às cinco linhas produtivas deste setor. A implementação da metodologia seguiu as quatro etapas definidas e culminou – com o auxílio a ferramentas de normalização de processos – numa redução média do tempo de *setup* de 56% nas linhas às quais a metodologia foi aplicada.

Para além da redução do tempo de *setup*, o impacto da implementação da metodologia SMED foi visível noutras vertentes. Assim sendo, procedeu-se à análise e quantificação do impacto da implementação de SMED nas vertentes económica, social e ambiental da Empresa A. Foram selecionados cinco indicadores – aumento de capacidade, custo do *setup*, consumo energético, redução de movimentações e energia desperdiçada em transporte de cargas pesadas –, cujo impacto foi medido antes e durante a implementação da metodologia. Foi ainda estimado o impacto que a implementação da metodologia terá quando o objetivo definido para o tempo de *setup* for atingido.

Os resultados obtidos permitem concluir que a implementação da metodologia SMED impacta para além da redução dos tempos de *setup*, produzindo melhorias nas vertentes económica, ambiental e social das organizações.

Palavras-chave: SMED, 3SM, Indicadores de Sustentabilidade, Fundação, Maquinagem

Abstract

The industries that were initially built to mass produce, were forced to change their processes in order to adapt to the diverse and customizable demand. Company A – faucet producer – was one of the industries that faced this challenge. Initially, in its five stages process, the first stage wasn't flexible to the constant model changeover needed in the production lines, which provoked *setups* that took over seven hours. In collaboration with Kaizen Institute, the *Single Minute Exchange of Die* (SMED) methodology was implemented in the five production lines present in the sector. The SMED methodology implementation followed a four steps approach and culminated – by using process standardization tools – in the reduction of *setup* time in average of 56% in the lines to which the methodology was applied.

Besides the *setup* time reduction, the implementation's impact was visible in other strands. The present dissertation culminated in the analysis and quantification of SMED methodology's impact, in Company A's economic, environmental, and social scope. Five indicators were selected and measured before, during the SMED implementation and the future state, in which the goals defined were attained, was estimated. The chosen indicators were capacity increase, *setup* cost, energy consumption, movement reduction and wasted energy in heavy load transportation.

The results obtained proved that the impact of SMED methodology implementation goes beyond the *setup* time reduction and that it allows holistic improvement in organization's economic, environmental, and social scope.

Keywords SMED, 3SM, Sustainability KPIs, Casting, Machining

ÍNDICE

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Simbologia e Siglas	xii
Simbologia.....	xii
Siglas	xii
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	3
2.1. Introdução	3
2.2. <i>Value Stream Mapping</i> (VSM).....	3
2.3. <i>Single Minute Exchange of Die</i> (SMED).....	9
2.3.1. Implementação Proposta por Shingo (1985).....	9
2.3.2. Insuficiências da Metodologia SMED.....	12
2.4. Aplicação Conjugada das Metodologias VSM e SMED	14
2.4.1. Emprego da ferramenta VSM com posterior necessidade da implementação da metodologia SMED	14
2.4.2. Utilização da ferramenta VSM na implementação da metodologia SMED para o mapeamento do processo de <i>setup</i>	15
2.5. Sustentabilidade	16
2.5.1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	16
2.5.2. Sustentabilidade dos processos produtivos.....	18
2.6. <i>Sustainable Setup Stream Mapping</i>	20
3. Descrição do Caso	23
3.1. Introdução	23
3.2. Estágio	23
3.3. Empresa A.....	24
3.3.1. Apresentação do Processo Produtivo	26
3.4. Âmbito da Intervenção do Instituto Kaizen	31
4. Implementação <i>Single Minute Exchange of Die</i>	37
4.1. Introdução	37
4.2. Implementação.....	40
4.2.1. Etapa A: Analisar o estado inicial, no qual as tarefas internas e externas ao <i>setup</i> não são distinguidas.	40
4.2.2. Etapa B: Separar as atividades externas e atividades internas ao <i>setup</i>	42
4.2.3. Etapa C: Transformar as atividades internas ao <i>setup</i> em atividades externas.	45
4.2.4. Etapa D: Otimizar todos os aspetos do <i>setup</i>	54
4.2.5. Discussão de resultados	58
4.2.6. Conclusões e Trabalhos futuros.....	61
5. Análise ao impacto colateral da implementação da metodologia smed	63
5.1. Introdução	63

5.2.	Mapeamento do processo, do <i>setup</i> e das respetivas atividades.....	64
5.3.	Escolha e análise dos critérios de sustentabilidade	67
5.3.1.	Indicadores Económicos	68
5.3.2.	Indicadores Ambientais.....	80
5.3.3.	Indicadores Sociais.....	91
5.4.	Conclusões.....	97
6.	Conclusão Geral	100
	Referências Bibliográficas	103
	Anexo A	106
	Anexo B.....	111
	Anexo C.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquemática da Implementação de SMED, adaptado (Shingo, 1985).	9
Figura 2 – Impacto no tempo de <i>setup</i> da implementação da metodologia SMED, da implementação de melhorias ao nível de <i>design</i> e ambas.	13
Figura 3 – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável.....	17
Figura 4 – Famílias de Torneiras produzidas pela Empresa A: a) Lavatório; b) Bidé; c) Duche; d) Banho-Duche; e) Cozinha.	25
Figura 5 – Visão Macro do Processo Produtivo da Empresa A.	26
Figura 6 – a) Macho com excesso de areia (a vermelho); b) Operadora a retirar o excesso do macho.	26
Figura 7 – a) Molde montado; b) Detalhe a coquilha (sem macho inserido).	27
Figura 8 – a) Colada; b) Peças depois da zona de corte.	27
Figura 9 – Peça maquinada.....	28
Figura 10 – a) Peça antes do processo de Lixamento e Polimento; b) Peça após o processo de Lixamento e Polimento;.....	29
Figura 11 – Operadores a carregar o bastidor com torneiras.....	30
Figura 12 – Operador a montar a torneira.	31
Figura 13 – Mapeamento do processo produtivo da Empresa A.....	33
Figura 14 – Mapeamento das tarefas do <i>setup</i> filmado.....	44
Figura 15 – Modo Operatório do <i>setup</i> de Fundação para o Operador A.....	51
Figura 16 – Árvore de decisão das atividades do <i>setup</i>	52
Figura 17 - Palete de <i>setup</i>	53
Figura 18 – Norma de Afinação da máquina X.....	57
Figura 19 – Mapeamento dos três níveis: Processo produtivo, atividades do <i>setup</i> e tarefas do <i>setup</i>	66
Figura 21 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Inicial.....	91
Figura 22 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Atual.	93
Figura 23 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Futuro.	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Análise da incidência na literatura das métricas para a análise do estado atual no setor de manufatura, adaptado de (Shou et al., 2017).	4
Tabela 2 – Análise de incidência das técnicas de melhoria utilizadas para atingir o estado futuro, adaptado de (Shou et al., 2017).	5
Tabela 3 – Análise às melhorias atingidas nas técnicas presentes na literatura, adaptado de (Shou et al., 2017).	6
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens dos vários métodos de análise do estado inicial propostos por Shigeo Shingo.	10
Tabela 5 – População empregada: total e por grandes sectores de atividade económica (Pordata, acedida em julho de 2021).	18
Tabela 6 – Consumo de energia elétrica: total e por sector de atividade económica (Pordata, acedida em julho de 2021).	18
Tabela 7 – Utilização das Máquinas das linhas da secção de Fundição e Maquinagem no ano 2020.	34
Tabela 8 - Segmentos do <i>Setup</i> nas linhas de Fundição e Maquinagem.	37
Tabela 9 – Registo do número de <i>setups</i> , tempo médio de troca e tempo médio de paragem da Fundição, tempo médio de troca e tempo médio de paragem da Maquinagem.	39
Tabela 10 – Ponto de partida do tempo de <i>setup</i> da Fundição e Maquinagem.	40
Tabela 11 – Análise à frequência de entrada em produção de cada família da Empresa A na linha 5 desde janeiro/2019 até abril/2021.	42
Tabela 12 – Distribuição de máquinas pelos operadores a executar o <i>setup</i> no estado inicial.	47
Tabela 13 – Distribuição de máquinas pelos operadores a executar o <i>setup</i> no estado atual.	50
Tabela 14 – Comparação entre o tempo de <i>setup</i> antes da implementação da metodologia SMED e no fim da Etapa C da metodologia.	53
Tabela 15 – Matriz de Impacto/Facilidade das oportunidades de melhoria do <i>setup</i>	55
Tabela 16 – Tempo de <i>setup</i> atingido com a implementação de SMED.	60
Tabela 17 – Indicadores de sustentabilidade selecionados.	67
Tabela 18 – Taxa de rejeição de peças nos processos da Empresa A.	69
Tabela 19 - Custo anual dos <i>setups</i> no Estado Inicial, Atual e Futuro em cada uma das linhas, respetivamente.	79

Tabela 20 – Tempo de produção, tempo de espera e tempo desligado nas cinco linhas de fundição e maquinagem, anualmente.	86
Tabela 21- Tempo de produção, tempo de espera e tempo desligado nas cinco linhas de fundição e maquinagem, anualmente.	87
Tabela 23 – Consumo Energético, Custo energético e capacidade nos diferentes estados.	89
Tabela 24 – Resumo do impacto da Opção A e Opção B	90
Tabela 25 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Inicial.	92
Tabela 26 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Atual.	93
Tabela 27 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Futuro.	94
Tabela 28 – Peso médio das cargas, distância percorrida com a carga e trabalho por operador no Estado Inicial.....	95
Tabela 29 – Peso médio das cargas, distância percorrida com a carga e trabalho por operador no estado futuro.....	96
Tabela 30 – Indicadores Económicos adaptados de (Helleno et al., 2017).	106
Tabela 31 – Indicadores Sociais adaptado de (Helleno et al., 2017).	107
Tabela 32 – Indicadores Ambientais adaptado de (Helleno et al., 2017).	108

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

Pp – Potência no Modo de Produção

Pe – Potência no Modo de Espera

Pd – Potência no Modo Desligado

tp – Tempo em que o Modo de Produção está ativo

te – Tempo em que o Modo de Espera está ativo

td – Tempo em que o Modo Desligado está ativo

Ep – Energia Modo de Produção

Ee – Energia Modo de Espera

Ed – Energia Modo Desligado

Siglas

SMED – Single Minute Exchange of Die

VSM – Value Stream Mapping

3SM – Sustainable Setup Stream Mapping

TBL – Tripple Bottom Line

FIFO - First In First Out

1. INTRODUÇÃO

Desde os anos 80 que o panorama de consumo tem vindo a sofrer uma grande transformação em prol da customização de produtos. A procura por artigos diversificados e personalizáveis obrigou a uma alteração do paradigma produtivo, que estimulou a transformação da produção em massa, na manufatura de lotes de menor tamanho com promessas de entrega “*just in time*”. Para se adaptarem à diversificação da procura, os processos produtivos tiveram de ser adaptados, resultando em repercussões capacitivas desvantajosas e, conseqüentemente, na perda de produtividade.

A resposta à procura exige flexibilidade das linhas produtivas, para permitir a produção de diversos modelos num curto espaço de tempo. Para isso, é necessário executar mudanças de *setups* rápidas nas linhas produtivas, para permitir que as máquinas possam parar de produzir a referência X e comecem a produzir a referência Y.

Foi apenas em 2004, que a Empresa A – produtora de torneiras domésticas – decidiu mudar a sua estratégia, ao passar da produção contínua de três referências – cujo processo era executado, respetivamente, em cada uma das três linhas produtivas existentes à data – para a produção de mais de 100 modelos, com os quais, idealmente, poderia satisfazer a procura dos seus clientes.

A fraca adaptabilidade das linhas produtivas da Empresa A ao novo paradigma de consumo e a impossibilidade financeira de as reestruturar, fez com que o *setup* das linhas do primeiro processo produtivo – Fundação e Maquinagem – pudesse demorar, por vezes, mais de sete horas. Por consequência, a capacidade produtiva da Empresa A foi diminuído, tornando a satisfação dos pedidos de clientes insustentável. Assim sendo, a Empresa A foi obrigada subcontratar uma empresa externa para a produção de determinadas de referências. Não obstante a ajuda imprescindível da empresa externa, o seu processo produtivo não é controlável pela Empresa A, tornando a parceria pouco flexível a qualquer alteração repentina.

Tendo em conta a situação apresentada, o Instituto Kaizen propôs a implementação da metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED) – que consiste na separação das atividades externas e internas ao *setup*, na sua otimização e consequente redução do tempo de *setup*, permitindo uma aproximação a uma produção “*just in time*”.

Apesar de o resultado direto da sua implementação ser a redução drástica do tempo de *setup*, a metodologia SMED apresenta outros impactos no processo produtivo. Assim sendo, a implementação da metodologia SMED culmina na análise do seu impacto nos três pilares da sustentabilidade: económico, social e ambiental. Esta análise, executada com recurso à ferramenta *Sustainable Setup Stream Mapping* (3SM), permitiu uma visão detalhada dos efeitos indiretos da implementação da metodologia SMED na Empresa A. Deste modo, o presente documento reflete a implementação da metodologia SMED e o seu impacto nos três pilares da sustentabilidade.

A Dissertação está dividida em 6 capítulos, que são apresentados de seguida. Após a Introdução, segue-se a revisão bibliográfica – no segundo capítulo –, na qual é abordada, em primeiro lugar, a ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM), seguida da metodologia SMED, progredindo sucessivamente para a exploração da conjugação das duas ferramentas de melhoria contínua. Posteriormente é dirigido o foco à sustentabilidade, finalizando o capítulo com a metodologia *Sustainable Stream Setup Mapping* (3SM). No terceiro capítulo é enquadrado o âmbito da dissertação, no qual é apresentado o Instituto Kaizen, com o qual foi desenvolvida a dissertação – em parceria com a Universidade de Coimbra – e um dos seus clientes, a Empresa A, cujo processo produtivo é explorado. O quarto capítulo é focado na implementação da metodologia SMED. São, também, apresentados os resultados da implementação e os trabalhos futuros a executar. O quinto capítulo incide na quantificação do impacto da implementação da metodologia SMED. Neste capítulo será mapeado o processo produtivo, o *setup* e as respetivas atividades. Posteriormente serão identificados os indicadores a analisar e será quantificado o impacto de cada um no Estado Inicial, no Estado Atual e no Estado Futuro. Por fim, foram tecidas considerações acerca do trabalho desenvolvido, resultados alcançados, propostas de trabalhos futuros e críticas ao processo utilizado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

No presente capítulo, serão abordados os principais temas que permitiram o desenvolver da dissertação. Em primeira instância é abordada a metodologia *Value Stream Mapping* (VSM) e a metodologia *Single Minute Exchange of Die* (SMED). Posteriormente, é explorada a aplicabilidade da junção das duas metodologias. De seguida é abordada a Sustentabilidade e, por fim, é analisada a metodologia *Sustainable Stream Setup Mapping* (3SM).

2.2. *Value Stream Mapping* (VSM)

A ferramenta VSM, foi criada por Rother and Shook (1999) como uma técnica de melhoria dos processos que evidencia as atividades que acrescentam valor e as atividades que não acrescentam valor ao processo. Esta é uma ferramenta que permite que o utilizador acompanhe o fluxo de material e o fluxo de informação existente ao longo da cadeia de valor (Mike Rother, 2003).

A cadeia de valor consiste nas ações necessárias para conceber o produto, desde a entrada de matéria-prima no processo até à entrega do produto final aos clientes (Mike Rother, 2003). Na cadeia de valor estão incluídas as tarefas de valor não acrescentado, que permitem identificar as ineficiências do sistema produtivo. Assim sendo, esta ferramenta gráfica permite a representação de cada processo existente no fluxo de material e/ou informação, sendo utilizada com o objetivo final de desenhar um mapa futuro da cadeia de valor.

A aplicação da metodologia VSM deve ser feita por uma equipa criada para esse propósito, através da aplicação de cinco etapas (Rother and Shook, 1999):

1. Seleção de uma família de produtos;
2. Mapeamento do estado atual;
3. Mapeamento do estado futuro;

4. Definição do plano de trabalho;
5. Alcance de resultados.

Shou (2017) separa a implementação do VSM em cinco domínios de negócio: manufatura, cuidados de saúde, construção, desenvolvimento de produtos e serviços. Quando é mapeado o estado atual, cada setor tem certos parâmetros que devem ser analisados para que o desenho do estado futuro seja facilitado. O estudo realizado por Shou (2017), mostra que no setor de manufatura, as métricas que são analisadas com mais frequência são o tempo de ciclo (69%), o tempo de processamento (67%) e o inventário (58%). Na Tabela 1 encontram-se listadas as métricas utilizadas na literatura para a análise do estado atual no setor de manufatura e a respetiva incidência. Note-se que, as métricas de sustentabilidade – nas quais a presente Dissertação se irá focar – têm uma percentagem de incidência na literatura bastante reduzida.

Tabela 1 – Análise da incidência na literatura das métricas para a análise do estado atual no setor de manufatura, adaptado de (Shou et al., 2017).

Tipos de processo	Métricas	Quantidade	Incidência (%)
Eficiência Produtiva	Tempo de ciclo	61	69
	Tempo de processamento	59	67
	Inventário	51	58
	Rácio de valor acrescentado	36	41
	Mão de obra	32	36
	Tempo de mudança	25	28
	Tempo produtivo	24	27
	Tempo de processamento	25	28
	Turno	13	15
	Tempo de <i>setup</i>	13	15
	Tempo desperdiçado	8	9
	Lote	9	10
	Tempo de espera	6	7
	Transporte	9	10
	Tempo disponível	5	6
	Produção	2	2
	Entrega a tempo	1	1
	Retrabalho	1	1
	Defeitos	4	5
Performance de Máquina	Tempo médio entre avarias	2	2
	Tempo médio de reparação	2	2

Tipos de processo		Métricas	Quantidade	Incidência (%)
		Máquina fidedigna	1	1
Sustentabilidade	Económico	Custo de valor acrescentado	3	3
		Custo de valor não acrescentado	3	3
		Consumo de matéria-prima	3	3
		Consumo de potência	2	2
		Consumo total de energia	3	3
		Consumo de petróleo e carvão	1	1
		Taxa de utilização dos materiais	1	1
	Ambiental	Pegada de carbono	3	3
		Eutroficação da água	2	2
		Acidificação do ar	1	1
		Consumo de água	4	5
	Social	Índice de carga física	3	3
		Riscos em ambiente de trabalho	3	3
Nível de ruído		3	3	

Segundo a revisão feita por Shou (2017), a melhoria para atingir o estado futuro é executada com recurso a três tipos de técnicas: *lean*, informáticas e de gestão. As ferramentas *lean* mais utilizadas são o *takt time*, *kanban*, *5S*, fluxo contínuo e *Kaizen*; cuja incidência na literatura é superior a 15% dos artigos compreendidos no estudo (Tabela 2). Nas ferramentas de gestão destaca-se a formação e o envolvimento antecipado. Na Tabela 2 estão destacadas as técnicas empregues na melhoria do estado futuro.

Tabela 2 – Análise de incidência das técnicas de melhoria utilizadas para atingir o estado futuro, adaptado de (Shou et al., 2017).

Tipos de processo	Métricas	Quantidade	Incidência (%)
Técnicas lean	<i>TAKT time</i>	39	44
	<i>Kanban</i>	26	30
	<i>5S</i>	17	19
	Fluxo contínuo	15	17
	<i>Kaizen</i>	15	17
	Supermercados	13	15
	Nivelamento da produção	13	15
	Normalização do trabalho	10	11
	Processo agendado	9	10

Tipos de processo	Métricas	Quantidade	Incidência (%)
	Trabalho constante em redução de progresso	9	10
	Fluxo unitário	8	9
	FIFO	9	10
	Melhoria contínua	7	8
	Caixa Heijunka	6	7
	Produção em célula	4	5
	SMED	5	6
	Manutenção produtiva total	5	5
	Just in time	1	1
	Poka yoke	1	1
Técnicas relacionadas com tecnologia	Tecnologia da informação	5	6
	Gestão visual	2	2
Técnicas relacionadas com gestão	Formação	11	13
	Envolvimento antecipado	10	12
	Envolvimento dos stakeholders	6	7
	Mudança de gestão	1	1
	Avaliação de risco	1	1
	Inspeção nas etapas	1	1

Os benefícios do emprego da ferramenta VSM são também explorados por Shou (2017), que destaca a melhoria nos inventários (70%), no tempo de processamento (56%), no tempo de ciclo (52%) e na distância percorrida (58%). Na Tabela 3 encontram-se os benefícios da implementação de VSM no setor de manufatura.

Tabela 3 – Análise às melhorias atingidas nas técnicas presentes na literatura, adaptado de (Shou et al., 2017).

Técnica	Inventário	Tempo de processamento	Tempo de ciclo	Mão de obra	Tempo de valor acrescentado	Defeitos
Média de melhoria [%]	70%	56%	52%	37%	42%	13,20%
Técnica	Espaço disponível no solo	Taxa de processamento	Tempo de atividade	Produtividade	Distância percorrida	Tempo de produção
Média de melhoria [%]	35%	45%	2%	32%	58%	23%

A melhoria obtida através da utilização desta ferramenta revela-se benéfica. Segundo Lasa et al.,(2008) a ferramenta VSM é única, quando comparada com outras ferramentas de redesenho de sistemas de manufatura, que não são tão completas nem têm o mesmo objetivo. A ferramenta alternativa que se destaca é o *Process mapping*, que demonstra passo a passo as atividades, inputs e outputs do processo, com o objetivo de ajudar as várias partes do processo a entender o todo (Damelio, 2011). No entanto, é uma ferramenta muito genérica, que se torna difícil de adaptar à modelação de sistemas produtivos (Lasa et al., 2008).

Conclui-se que a ferramenta VSM é completa no que toca à identificação das debilidades das organizações e redesenho dos seus processos, podendo ser aplicada transversalmente a vários setores e eliminando o desperdício nos vários cenários.

2.3. Single Minute Exchange of Die (SMED)

A metodologia SMED foi introduzida em 1969, quando a *Toyota Motor Company* pediu a *Shingo* que reduzisse o tempo de *setup* de uma prensa de mil toneladas (que já tinha sido reduzido inicialmente de quatro horas para uma hora e meia) para apenas três minutos.

A metodologia SMED propõe a aproximação a uma produção “*just in time*”, executando uma operação de *setup* em menos de dez minutos, isto é, num número de minutos que se pode ser expresso num só algarismo (Shingo, 1985). Apesar da utopia que é pensar que todos os *setups* se podem completar em menos de dez minutos, *Shingo* (1985) afirma que este objetivo é atingido numa grande percentagem dos casos, sendo que nas situações em que não é possível, as reduções drásticas de tempo de *setup* são garantidas.

2.3.1. Implementação Proposta por Shingo (1985)

As iniciativas para a redução de tempo de *setup* estão maioritariamente associadas à metodologia SMED de Shigeo Shingo (1985), cujo modelo de implementação se divide em quatro etapas (Figura 1).

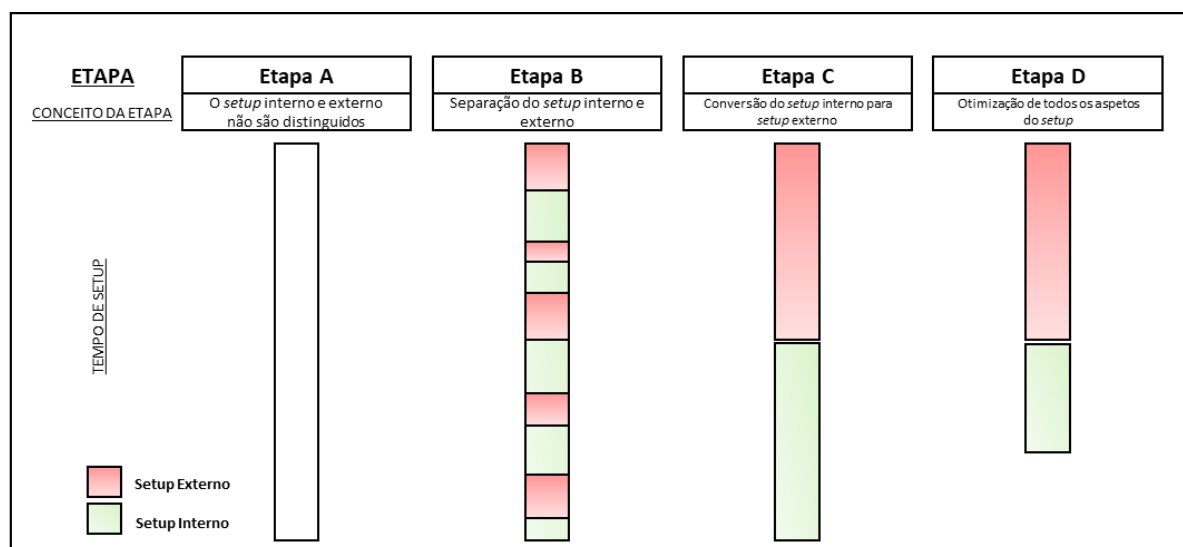


Figura 1 – Esquematização da Implementação de SMED, adaptado (Shingo, 1985).

Assim sendo, são apresentadas as quatro etapas da metodologia:

Etapa A: Analisar o estado inicial, no qual as tarefas internas e externas ao *setup* não são distinguidas.

Para analisar o estado inicial do *setup*, deve ser feito um estudo no chão de fábrica, que pode ser realizado através de vários métodos:

- Análise contínua da produção, feita com um cronómetro que mede as várias atividades;
- Estudo de amostragem de trabalho, para tarefas repetitivas;
- Entrevista a operadores;
- Gravação das operações de *setup*;

Na Tabela 4 encontram-se listadas as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos de análise do estado inicial.

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens dos vários métodos de análise do estado inicial propostos por Shigeo Shingo.

Método de Análise do Estado Inicial	Vantagens	Desvantagens
Análise contínua da produção	Precisão	Moroso Requer habilidade
Estudo de amostragem de trabalho	Rapidez de implementação	Apenas viável para tarefas com ações repetitivas
Entrevista a operadores	Operadores são quem conhece melhor o processo	Operadores podem ter uma visão pouco crítica e não direcionada ao foco pretendido
Gravação das operações de <i>setup</i>	Eficaz se o vídeo for mostrado aos operadores depois de o <i>setup</i> estar concluído	Por vezes, moroso

Etapa B: Separar as atividades externas e atividades internas ao *setup*.

Segundo *Shingo* (1985), as atividades de um *setup* podem ser divididas em dois tipos:

- Atividades externas ao *setup*, que podem ser executadas enquanto a máquina à qual se fará o *setup* está a funcionar e a produzir peças boas;

- Atividades internas ao *setup*, que só podem ser executadas quando a máquina à qual se fará o *setup* está parada ou cujas condições não permitem a produção de peças boas.

Certas tarefas não devem ser executadas enquanto a máquina está parada porque não há necessidade. Apesar disso, na maioria dos casos, este problema é recorrente, tornando-se o fator principal que impede a diminuição do tempo de *setup*.

Etapa C: Transformar as atividades internas ao *setup* em atividades externas.

Este é o estágio no qual o tempo de *setup* irá reduzir drasticamente pelo uso de dois métodos:

- Reexame das operações, de modo a perceber se houve passos que foram considerados internos, sendo, na verdade, externos;
- Pesquisa de formas de conversão de tarefas internas em tarefas externas ao *setup*.

Para se conseguir obter resultados, é necessário preparar atempadamente as condições operacionais. De seguida, as funções devem ser normalizadas, para que seja necessário efetuar o menor número de ações enquanto a máquina está parada.

Etapa D: Simplificar todos os aspetos do *setup*.

Apesar de os primeiros passos serem conhecidos pela diminuição drástica do tempo de *setup*, há algumas ferramentas que também podem auxiliar na obtenção de bons resultados. Para a diminuição do tempo das atividades internas são recomendadas as operações paralelas, utilização de apertos rápidos, utilização de amarras e a eliminação de ajustes através da utilização de calibres.

As melhorias a nível das atividades externas ao *setup* estão relacionadas com o armazenamento e transporte de produtos, que não tem impacto no tempo de *setup* devido à sua execução quando a máquina está a produzir peças boas.

2.3.2. Insuficiências da Metodologia SMED

A metodologia SMED é conhecida há mais de 35 anos e é aplicável a todas as indústrias. São inúmeros os casos de sucesso na aplicação da ferramenta SMED. No entanto, e apesar disso, algumas empresas falharam na sua implementação e são apresentados poucos estudos acerca das causas por detrás destas falhas. Assim sendo, no presente subcapítulo são realçadas as insuficiências da metodologia.

Rigidez da Metodologia

Uma das possíveis falhas da metodologia está relacionada com o facto de ser uma metodologia rígida, dando pouca flexibilidade ao utilizador em situações em que seria vantajoso (McIntosh et al., 2000). Em certos ambientes, seguir as quatro etapas mencionadas previamente pode não ser a maneira mais eficiente de reduzir o tempo de *setup*. Por vezes é dado demasiado foco à externalização das tarefas, sendo a redução do tempo das atividades e a sua simplificação esquecida. A metodologia foca-se em melhorias organizacionais, que mudam a maneira como os operadores trabalham, não dando relevância a melhorias no desenho de mudanças físicas nos equipamentos (Reik et al., 2006).

Para demonstrar o impacto que as melhorias a nível de design podem ter, Cakmakci (2009) apresenta uma hipótese de redução do tempo de *setup* com base nas mudanças implementadas no sistema (Figura 2). Se o foco for apenas no que a metodologia sugere, os resultados não serão extraordinários. Se o foco estiver na junção das modificações físicas dos equipamentos enquanto se implementa SMED então os resultados obtidos podem ser tanto melhores quanto o investimento feito.

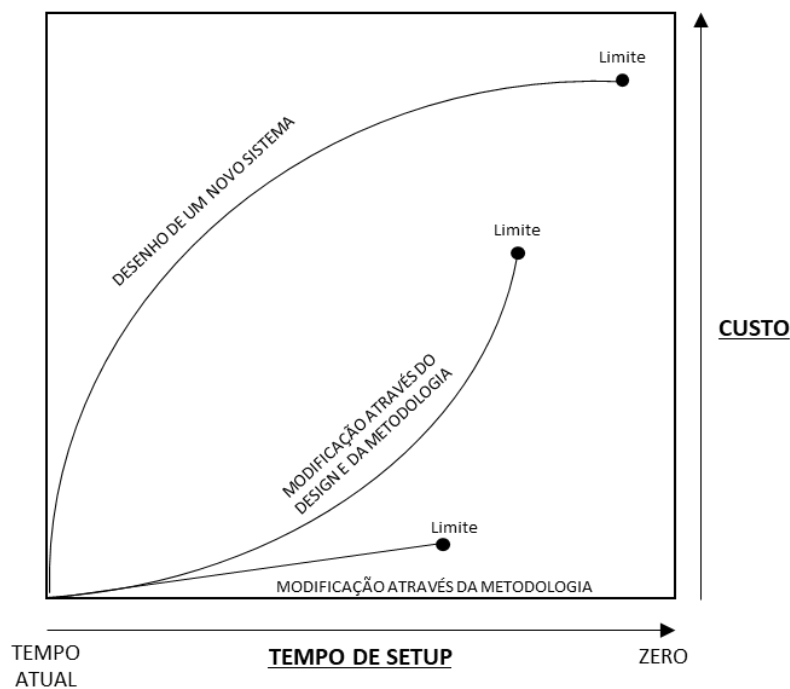


Figura 2 – Impacto no tempo de *setup* da implementação da metodologia SMED, da implementação de melhorias ao nível de *design* e ambas.

Performance da Equipa

Apesar da extensa literatura, o tema da performance das equipas que implementam SMED nunca foi suficientemente explorado (Ferradás & Salonitis, 2013). Ferradás e Salonitis (2013) sugerem que deveriam estar incluídas na metodologia a escolha dos membros da equipa e delegação das respetivas responsabilidades durante o projeto, bem como a formação da equipa. A formação e a motivação da equipa podem ser fatores cruciais no sucesso da implementação da metodologia SMED (Gest et al., 1995).

Sustentação de Resultados

A implementação de SMED por si só não garante a longevidade dos resultados obtidos. Para além de utilizar esta metodologia como uma ferramenta de melhoria contínua, é necessário garantir que todos os processos envolvidos no *setup* estão normalizados, que é dado seguimento à metodologia e que todos os tempos de *setup* são continuamente medidos (McIntosh et al., 2000)(Cakmakci, 2009).

2.4. Aplicação Conjugada das Metodologias VSM e SMED

A junção das duas das ferramentas *lean* começou a ganhar fama quando se percebeu a complementaridade entre ambas. Recorrendo à literatura existente, os trabalhos nos quais são exploradas simultaneamente a metodologia VSM e a metodologia SMED podem ser classificados de duas formas:

- Mapeamento do processo global através da ferramenta VSM e posterior implementação de SMED para obter o estado futuro;
- Mapeamento do(s) processo(s) de *setup* através da ferramenta VSM, auxiliando a implementação de SMED.

Apesar de serem formatos distintos de implementação das duas ferramentas, ambos formatos apresentam bons resultados na redução do desperdício, sendo empregue um ou outro consoante a necessidade dos processos e da melhoria a implementar.

2.4.1. Emprego da ferramenta VSM com posterior necessidade da implementação da metodologia SMED

Para se obter o mapa do estado futuro desenhado através da ferramenta VSM, recorre-se a ferramentas *lean*. Uma das ferramentas utilizadas é o SMED, mencionado anteriormente como uma ferramenta cujo objetivo é reduzir drasticamente o tempo de *setup*, permitindo um melhor aproveitamento do tempo-máquina, a redução dos tamanhos de lote e, conseqüentemente, a redução de inventário.

(Wang et al., 2012) e (Azizi & Manoharan, 2015) mapeiam o estado inicial da cadeia de valor com recurso à ferramenta VSM, na qual é destacado o desperdício presente no processo. Para eliminar o desperdício, recorrem à metodologia SMED, com a qual se obtêm os resultados definidos no mapa do estado futuro.

(Ashif et al., 2015), depois de mapear o estado inicial da cadeia de valor com recurso à ferramenta VSM, reduz o *lead time* de produção através da identificação de desperdício no mapeamento do processo. Depois de estar eliminado o desperdício principal, Ashif (2015) implementa a metodologia SMED para a redução do tempo de *setup*.

Assim sendo, o mapeamento do processo global através da ferramenta VSM e posterior implementação de SMED é concretizada da seguinte forma:

1. Mapeamento do Estado Inicial;
 - i. Identificação do desperdício no Estado Inicial e escolha das ferramentas *lean* a utilizar;
 - ii. Mapeamento do Estado Futuro (pode ser executado apenas depois do passo 2);
2. Implementação da metodologia SMED;
3. Análise de resultados.

2.4.2. Utilização da ferramenta VSM na implementação da metodologia SMED para o mapeamento do processo de *setup*

O emprego da ferramenta VSM na implementação da metodologia SMED surge da necessidade de compreender de forma clara as atividades e tarefas do *setup*. O mapeamento feito com recurso à ferramenta VSM surge, habitualmente, no início da implementação de SMED, quando é explorado o estado inicial do *setup*.

Min Lv (2015), analisa e aplica SMED numa indústria de fabrico de sapatos, baseando-se no VSM. Começa por dividir o *setup* de uma máquina de injeção de moldes em 4 subprocessos, mapeando cada um deles. De seguida, propõe melhorias para o combater o desperdício encontrado no VSM, através do uso da metodologia SMED. Min Lv (2015) frisa que a combinação das ferramentas VSM e SMED alcançam melhores resultados do que isoladas. Para a otimização do processo de *setup* é vantajoso mapeá-lo e identificar os problemas e desperdício nesse mesmo processo, não “apenas” distinguir tarefas externas de internas (Lv et al., 2015).

Ebrahimi (2021) mapeia o processo de *setup* com recurso à ferramenta VSM, explorando o impacto da sustentabilidade do *setup* do processo como um todo. Ebrahimi (2021) investiga a forma como os três pilares da sustentabilidade podem ser considerados na metodologia SMED e desenvolve a metodologia *Sustainable Setup Stream Mapping (3SM)*.

2.5. Sustentabilidade

Sempre que são aplicadas melhorias nos processos é imperativo ter em consideração o impacto que irão ter ao longo da cadeia de valor. Este impacto pode ser medido através das vertentes *Triple Bottom Line* (TBL) – económica, ambiental e social -, que refletem o impacto da sustentabilidade, alvo de exploração no presente capítulo.

A monitorização da sustentabilidade tem vindo a evoluir rapidamente desde um conceito vasto até a uma prática amplamente adotada (Krajnc & Glavič, 2005). Os relatórios de sustentabilidade têm vindo a emergir como uma tendência de monitorização corporativa, na qual é integrada a performance económica, social e ambiental das empresas (Krajnc & Glavič, 2005). A compreensão de que a melhoria é dependente da vontade de investir, não só, na vertente económica das empresas, mas também na vertente social e ambiental é transversal no setor industrial.

No presente subcapítulo será abordado inicialmente o motivo macro pelo qual o ser humano, as empresas e os países devem estar interessados em atender às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. De seguida, é abordada uma ferramenta de medição do impacto das três vertentes mencionadas. Por fim são abordadas as vertentes TBL no âmbito dos processos, percebendo como é que esta análise pode estar incluída na indústria.

2.5.1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que vieram dar continuidade ao trabalho iniciado pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio (ODM), são uma lista de 17 objetivos (Figura 3 – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável.Figura 3) estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas em 2015. Estes objetivos foram adotados por todos os Estados Membros da União Europeia com o objetivo de garantir a paz e prosperidade das pessoas e do planeta, agora e no futuro.

Os países assinantes do acordo reconhecem que a erradicação da fome e outras privações devem andar de mão dada com estratégias que melhorem o acesso a saúde e a educação, que reduzam as desigualdades e que espoletem o crescimento económico – tudo isto enquanto se combatem as mudanças climáticas e se trabalha para a preservação dos oceanos e florestas (<https://sdgs.un.org/goals>).



Figura 3 – Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável.

Estas metas são integradas e indivisíveis, balanceando as 3 vertentes do desenvolvimento sustentável: Económica, Social e Ambiental (*The 2030 Agenda For Sustainable Development*).

Sabendo que o setor secundário¹ é responsável por um quarto da empregabilidade Portuguesa (Tabela 5), que a Indústria transformadora é responsável por um quinto da riqueza criada em empresas portuguesas (Tabela 6) e por um terço do consumo de energia elétrica em Portugal (Tabela 7) é de todo o interesse que o ODS7, o ODS8 e o ODS12 estejam sempre em mente quando se pensa em implementar melhorias neste setor:

- a) ODS7 – Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e limpas para todos, impulsionando a eficiência energética da indústria;
- b) ODS8 – Promover o crescimento económico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos, de modo a promover ambientes de trabalho seguros e protegidos para todos os trabalhadores;
- c) ODS12 – Garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis, alterando os modelos de produção e consumo, havendo menos recursos, mais eficiência e menor impacto ambiental.

¹ No setor secundário incluem-se atividades industriais transformadoras, atividades de construção e atividades de produção de energia.

Tabela 5 – População empregada: total e por grandes sectores de atividade económica (Pordata, acedida em julho de 2021).

	Setor primário	Setor secundário	Setor terciário
População empregada por setor ano 2020 (%)	5,4%	24,8%	69,9%

Tabela 6 – Valor acrescentado bruto das empresas: total e por sector de atividade económica (Pordata, acedida em julho de 2021).

	Indústria transformadora	Comércio por grosso e retalho	Outros setores
Valor acrescentado bruto das empresas por setor ano 2020 (%)	19,6%	17,6%	62,8%

Tabela 6 – Consumo de energia elétrica: total e por sector de atividade económica (Pordata, acedida em julho de 2021).

	Indústria transformadora	Comércio por grosso e retalho	Outros setores
Consumo de energia elétrica por setor ano 2020 (%)	33,7%	7,0%	59,3%

Assim sendo, é imperativo que – quando as indústrias pensam em evoluir – o façam neste sentido, integrando a vertente ambiental, social e económica no seu crescimento. A indústria, cada vez mais, tem um papel fulcral no que toca à mudança no paradigma produtivo, adaptando-o para que os objetivos propostos até 2030 sejam tangíveis.

2.5.2. Sustentabilidade dos processos produtivos

A necessidade de averiguar o impacto dos três pilares da sustentabilidade no processo produtivo tem vindo a ser um alvo substancial de discussão. A utilização de ferramentas *lean*, para além dos benefícios associados ao fluxo produtivo (redução de inventários e dos níveis de retrabalho), permite aumentar os ganhos nas vertentes económica, social e ambiental do processo produtivo (Dües et al., 2013). Apesar disso, a implementação da melhoria deve ser realizada com cautela, atendendo sempre às necessidades de boas condições de trabalho dos operadores.

Os esforços para estender esta ferramenta foram focados, inicialmente, na vertente ambiental (*Sustainable VSM* (Simons and Mason, 2002); *Sustainable Value Chain Map* (Fearne and Norton, 2009); *Sustainable Manufacturing Mapping* (Paju et al., 2010)), abrangendo mais tarde a análise e representação das métricas *Tripple Bottom Line (TBL)* no VSM (*Sus-VSM* (Faulkner & Badurdeen, 2014)). Segundo Faulkner e Badurdeen (2014), um VSM que avalie a performance sustentável de um processo tem de incorporar as três vertentes da sustentabilidade, não esquecendo a incorporação de métodos para representar visualmente as métricas no VSM.

Na literatura é notório que, apesar da evolução no sentido da inclusão de indicadores de sustentabilidade, não existe nenhum método *standard* para avaliar a sustentabilidade dos processos produtivos, nem existe um consenso acerca dos indicadores que devem ser utilizados (Helleno et al., 2017). Parte disto deve-se à vasta aplicabilidade desta análise, impossibilitando a previsibilidade da pertinência da análise de certos indicadores nos variados campos. Faulkner e Badurdeen (2014) explica que ao desenvolver a ferramenta *Sus-VSM* o objetivo foi criar uma metodologia genérica que possa ser aplicada a vários setores da indústria, mas que as métricas escolhidas por si podem não ser igualmente aplicáveis a todos os cenários sendo, por isso, necessário selecionar novas ou customizar as métricas existentes.

Apesar da dificuldade, Helleno et al.,(2017) propõe-se a desenvolver um método que integre um novo grupo de indicadores de sustentabilidade *TBL* no VSM que sejam abrangentes a vários setores. De acordo com a revisão na literatura e com o conceito *TBL* em mente, foram desenvolvidos os indicadores que contribuem para a avaliação da produtividade e, conseqüentemente, para a melhoria da sustentabilidade. Os indicadores foram adaptados e encontram-se resumidos na Tabela 29, Indicadores Sociais adaptado de (Helleno et al., 2017) Tabela 30 e Tabela 31 no Anexo A.

Estando cada um dos critérios definidos, é simples calculá-los separadamente. Um dos maiores e mais complexos problemas associados à monitorização da sustentabilidade de uma empresa consiste na agregação de diferentes indicadores num só índice, que iria permitir

uma avaliação eficiente e rápida à sustentabilidade das empresas, bem como uma definição do *benchmark* de certos indicadores nos respetivos setores (Krajnc & Glavič, 2005). Apesar das várias ferramentas disponíveis no mercado estarem progressivamente a ser aceites, também tem vindo a ser evidente que os métodos de agregação de indicadores ou ainda não estão suficientemente bem estabelecidos ou estão sob desenvolvimento ou não estão disponíveis para todos os aspetos da sustentabilidade requeridos (Krajnc & Glavič, 2005).

Assim sendo, o presente documento não irá contemplar a agregação das três vertentes, nem a comparação com outras vertentes, dado que se trata de um processo específico, cujo *benchmarking* é difícil de obter.

2.6. Sustainable Setup Stream Mapping

A necessidade de apresentar uma versão holística do impacto da implementação de SMED, levou à utilização da metodologia *Sustainable Setup Stream Mapping (3SM)*, desenvolvida por Ebrahimi (2021).

Apesar de a literatura acerca da sustentabilidade dos processos já ser extensa (Garetti and Taisch 2012), o impacto das operações de *setup* nos processos produtivos é altamente negligenciado (Ebrahimi et al., 2021). Assim sendo, Ebrahimi (2021) propõe-se a explorar a sustentabilidade das operações de *setup* e a investigar a forma como os três pilares da sustentabilidade podem ser considerados na metodologia SMED. A metodologia proposta começa por mapear e analisar as operações de *setup*, avaliando o seu impacto na sustentabilidade do processo e melhorando o *setup* a nível das atividades, dos tempos e o seu impacto. O método 3SM é uma adaptação do VSM à ótica do *setup*, tendo em vista uma visão holística das operações do *setup* e analisando o impacto da vertente ambiental, social e económica nos processos produtivos. Assim sendo, a ferramenta é composta por seis etapas, mencionadas de seguida:

Etapa 1: Mapeamento do estado inicial

A implementação da ferramenta começa, à semelhança do VSM, com o mapeamento do estado inicial. Este mapeamento deve ser feito a três níveis. No primeiro nível é mapeado o processo produtivo globalmente. No segundo nível o foco é dirigido ao *setup*, sendo mapeadas as tarefas a ele inerentes. No terceiro nível são mapeadas as atividades de cada tarefa do *setup*. A descrição de cada um dos níveis é feita da seguinte forma:

- **Nível 1:** No primeiro nível, o processo produtivo é mapeado. Neste mapeamento devem estar incluídos os principais processos que acrescentam valor ao produto final e também os processos auxiliares. O primeiro nível é importante para demonstrar a relevância e enquadramento do *setup* no processo macro.
- **Nível 2:** No segundo nível, o foco deve estar direcionado para o processo no qual o *setup* sob estudo decorre. Neste nível, o mapeamento é feito relativamente às atividades da mudança de referência.
- **Nível 3:** No terceiro nível, as atividades descritas no Nível 2 são esmiuçadas com detalhe. São mapeadas as tarefas que dizem respeito a cada uma das atividades.

O mapeamento do nível 2 e do nível 3 ajudam à compreensão e divisão do *setup* por atividades internas e atividades externas.

Etapa 2: Análise de sustentabilidade às tarefas do *setup*

Depois de ter o processo, as atividades do *setup* e as respetivas tarefas mapeadas, deve passar-se à análise de sustentabilidade ao nível das tarefas (Nível 3). Esta é a etapa na qual se decide que indicadores de sustentabilidade serão analisados durante o uso da ferramenta. Para isso, *Ebrahimi* (2021) propõe que se analise cada tarefa e que sejam encontrados indicadores que consigam captar o desperdício presente nessa tarefa. É expectável que haja indicadores que são adaptáveis a mais do que uma tarefa e outros que serão exclusivos de certas tarefas.

Etapa 3: Mapeamento do estado inicial da sustentabilidade do *setup*

Nesta etapa, o impacto das métricas definidas na Etapa 2 é identificado e medido nos restantes processos produtivos mapeados na Etapa 1 – Nível 1. Este é um dos passos mais

complexos, tendo em conta que a quantificação das métricas de alguns processos pode ser difícil. Esta etapa não deve ser negligenciada, garantindo que o impacto de cada uma das vertentes é analisado e considerado em todos os processos. É esperado que este passo consiga captar o impacto do estado inicial do *setup* no restante processo, bem como o impacto das melhorias futuras a implementar.

Etapa 4: Mapeamento do estado futuro do *setup* através da melhoria do tempo de *setup*

A melhoria do tempo de *setup* é feita através da implementação da metodologia SMED. Existem várias técnicas que podem ser implementadas para a diminuição do tempo de *setup* como a externalização de tarefas, a duplicação de máquinas/itens, normalização de tarefas, etc..

Etapa 5: Mapeamento do estado futuro da sustentabilidade do *setup* através da melhoria do tempo de *setup*

As mudanças implementadas na quarta etapa podem ter impacto positivo ou negativo nos indicadores de sustentabilidade. Na quinta etapa, este impacto é quantificado. Os efeitos indiretos devem também ser medidos quando se considera melhorar o processo de *setup*, garantindo que o balanço será positivo.

Etapa 6: Ciclo de *feedback* e *feedforward*

A quarta e quinta etapa estão intimamente relacionadas, sendo certo que o impacto no tempo de *setup* irá afetar os critérios de sustentabilidade e vice-versa. Na prática vão ser necessárias várias iterações até que seja obtido um equilíbrio entre o tempo de *setup* e os resultados dos critérios, tendo sempre em mente que a excelência em ambos os níveis é utópica.

A implementação da metodologia *3SM* irá variar de processo para processo. É recomendado que a sua implementação seja feita com espírito crítico. Cada processo é um processo e cada *setup* é um *setup*. Para que a implementação de *3SM* seja bem-sucedida, é necessário que cada passo seja adaptado ao processo e *setup* sob análise.

3. DESCRIÇÃO DO CASO

3.1. Introdução

No presente capítulo é descrito o âmbito no qual a presente dissertação foi desenvolvida, é apresentada a empresa sob estudo e o processo por si desenvolvido. Por fim, é descrito o problema que espoletou a escrita da dissertação.

3.2. Estágio

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de um estágio curricular em colaboração com o Instituto Kaizen, uma consultora na área de melhoria contínua introduzida em 1985 por *Masaaki Imai* cuja missão é garantir uma melhoria gradual nas organizações.

Atualmente o Instituto Kaizen é uma organização global, tendo iniciado atividade em Portugal em 1999. Está presente em mais de 45 sectores e destaca-se, não só, pela sua presença na indústria, mas cada vez mais nos serviços, oferecendo soluções holísticas na área da melhoria contínua. Os projetos executados pela consultora têm por base a filosofia *Kaizen*, introduzida para *Masaaki Imai* nos anos 90. A filosofia tem por base cinco princípios, nos quais os consultores se baseiam para desenvolver e implementar cada projeto. São eles maximizar o valor para o cliente, criar fluxo, ir ao *Gemba*², capacitar as pessoas e ser transparente.

² *Gemba* é uma palavra de origem japonesa utilizada para identificar o local onde é acrescentado o valor de uma organização. Utilizando a Empresa A como exemplo, o *Gemba* é o chão de fábrica.

3.3. Empresa A

Um dos clientes que requisitou o auxílio do Instituto Kaizen foi a Empresa A, cuja identidade será omitida durante o desenvolvimento do documento por motivos de confidencialidade.

A Empresa A é uma das sucursais de um negócio fundado nos anos 20 do século passado no ramo de produção sanitária. Encontra-se localizada na região centro, tendo sido inaugurada como uma empresa de fabrico de torneiras. Atualmente o foco da empresa A é a produção de torneiras para uso doméstico e de cartuchos³ para uso interno e venda externa. Considerando que a faturação da Empresa A é, maioritariamente, consequência da produção e venda de torneiras (Gráfico 1), o presente documento irá suprimir, na sua análise, o impacto da produção de cartuchos no processo produtivo.

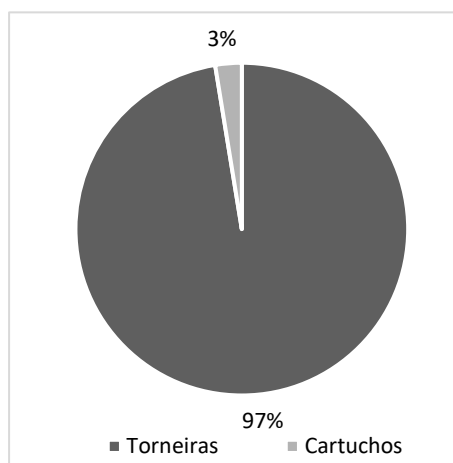


Gráfico 1 – Faturação Percentil da Empresa A.

A Empresa A fabrica, ao dia de hoje, 6 famílias de torneiras (Figura 4): Lavatório, Bidé, Duche, Banho Duche e Cozinha. Oferecendo aos seus clientes uma vasta gama de escolha, com mais de 100 referências.

³ O cartucho, na figura abaixo, é colocado nas torneiras para garantir a variação de fluxo de água.



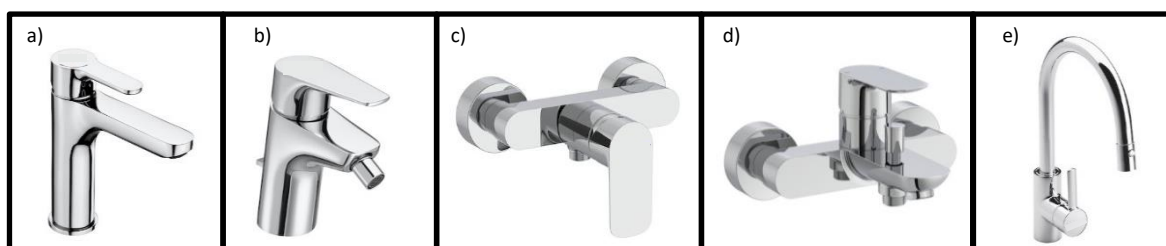


Figura 4 – Famílias de Torneiras produzidas pela Empresa A: a) Lavatório; b) Bidé; c) Duche; d) Banho-Duche; e) Cozinha.

A capacidade produtiva da empresa é de cerca de 2,9 milhões de torneiras/ano, estando as suas vendas distribuídas maioritariamente por dois clientes em Espanha e Portugal, que ocupam, respetivamente, 54% e 39% das vendas. O nível de serviço da Empresa A está na ordem dos 60%, o que significa que apenas 6 em cada 10 encomendas são entregues no prazo acordado e com a qualidade expectável. Relativamente ao consumo da Empresa A, os custos energéticos atingem os 120 000 €/mês e o consumo de água é aproximadamente a 25 000 m³/ano.

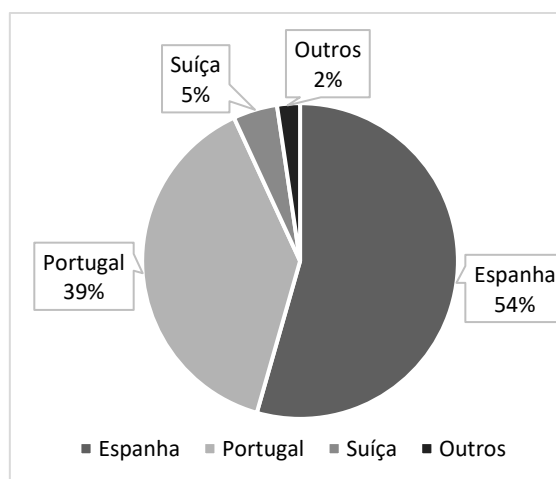


Gráfico 2 – Localização dos Clientes da Empresa A

A Empresa A bloqueia mensalmente mais de 1.5 M€ em *work in process* (WIP). O valor de inventário de matéria-prima e componentes ronda os 2.8 M€/mês e o custo de inventário de produto acabado ronda os 200 000 €/mês. O *lead time* de produção é de 16,6 dias, sendo que o tempo líquido de processo – que contabiliza apenas a produção que acrescenta valor, não contemplando o tempo de estabilização de produto – é de apenas de duas horas.

3.3.1. Apresentação do Processo Produtivo

Atualmente, a produção de torneiras na Empresa A é feita através de um processo que percorre 5 secções (Figura 5): Fundição e Maquinagem, Lixamento e Polimento, Lavagem, Cromagem e Montagem; que serão descritas daqui em diante.

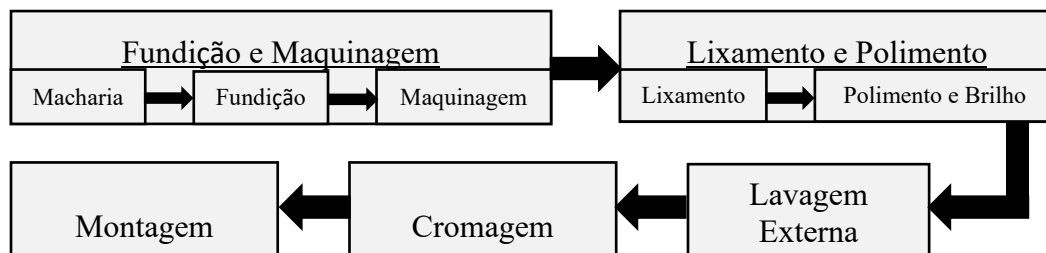


Figura 5 – Visão Macro do Processo Produtivo da Empresa A.

Fundição e Maquinagem

O processo produtivo inicia-se na secção de Fundição e Maquinagem, que se divide em três etapas distintas: Macharia, Fundição e Maquinagem (Figura 5).

Macharia

O processo de Macharia consiste na compressão de uma mistura de areia e resina na forma das concavidades necessárias para garantir o fluxo de água dentro da torneira, criando os machos. Depois de compressa a areia, é obtido o macho com algum excesso de areia (Figura 6a), que é retirado por uma operadora através da passagem de uma lima (Figura 6b).

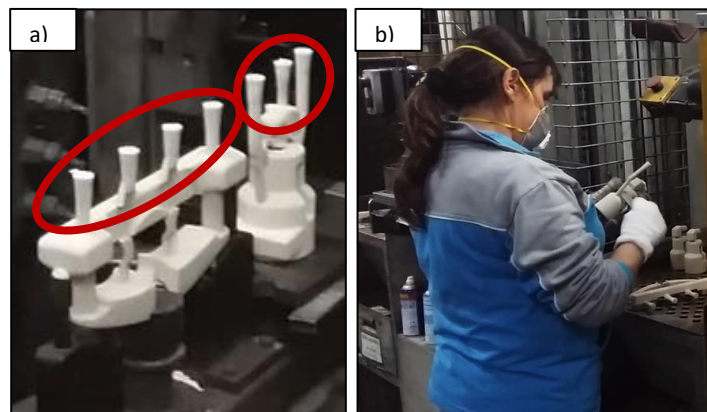


Figura 6 – a) Macho com excesso de areia (a vermelho); b) Operadora a retirar o excesso do macho.

Os machos são, posteriormente, colocados no interior do molde, momentos antes da injeção de lingote, ocupando a parte interna da torneira.

Fundição

O processo de Fundição é crítico para a qualidade das peças. Inicialmente, a matéria-prima – lingote constituído por uma liga de Zinco e Cobre – é introduzida no forno, que permanece temperaturas acima dos 1500°C, juntamente com excedentes, gitos e/ou rebarbas de peças fundidas anteriormente.

A matéria-prima é fundida e injetada na coquilha do molde montado no forno (Figura 7), que já contém o macho produzido na Macharia. Depois da injeção, o molde, ainda fechado, é introduzido em água para arrefecer. O produto é, posteriormente, libertado, passando por uma zona de lavagem rápida, na qual é retirado o excesso de areia vinda do macho.

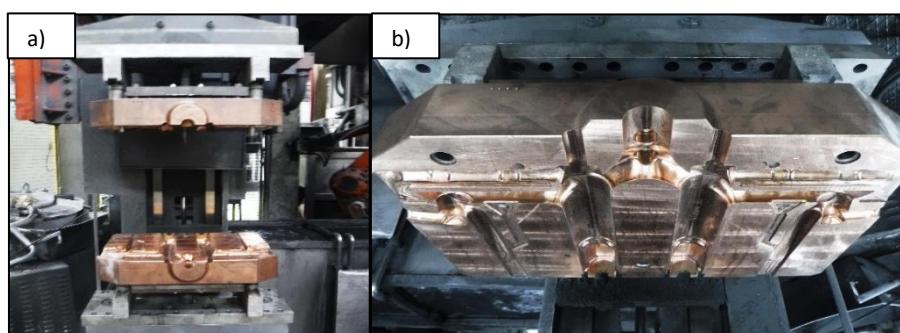


Figura 7 – a) Molde montado; b) Detalhe a coquilha (sem macho inserido).

Depois de fundir e lavar, o produto obtido é denominado de colada (Figura 8a), que é constituída pela ligação de duas peças⁴, cuja separação ocorrerá na etapa seguinte. Por fim,

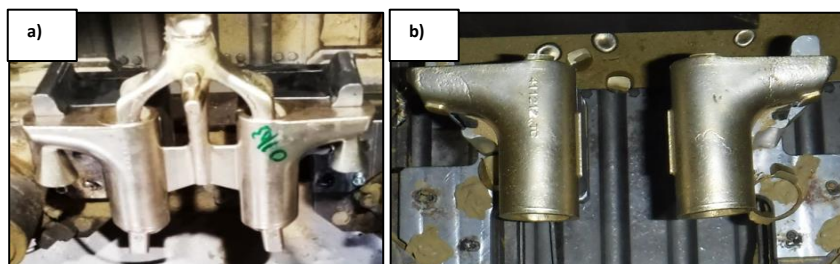


Figura 8 – a) Colada; b) Peças depois da zona de corte.

⁴ Caso o produto a fabricar seja de grandes dimensões, as coladas são constituídas apenas por uma torneira, sendo a sua produção semelhante à de coladas com duas peças.

a colada entra na zona de corte, onde é cortado o excesso de material através da passagem de um disco rotativo e individualizada cada peça (Figura 8b).

Maquinagem

A última etapa do processo de Fundição e Maquinagem é a Maquinagem das peças saídas da zona de corte. À entrada da zona de Maquinagem são feitos os pormenores das peças (roscas e aberturas), executados com auxílio a ferramentas automáticas cortantes. De seguida, a peça é testada a nível dimensional, sendo passada por dois calibres. Por último, cada peça é inserida na máquina de teste de estanquicidade concluindo o primeiro macroprocesso de produção de torneiras da Empresa A. Através da Figura 9, é possível observar os detalhes realizados na maquinagem da peça.

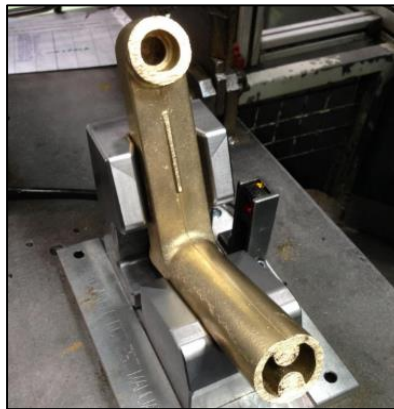


Figura 9 – Peça maquinada.

Lixamento e Polimento

O segundo macroprocesso da fabricação de torneiras na Empresa A é o Lixamento e Polimento. Nesta secção são executadas estas duas etapas do processo (Figura 5). Ao entrar no processo, a peça apresenta uma aparência fosca (Figura 10a) e ao abandonar o processo apresenta uma aparência abrilhantada (Figura 10b).

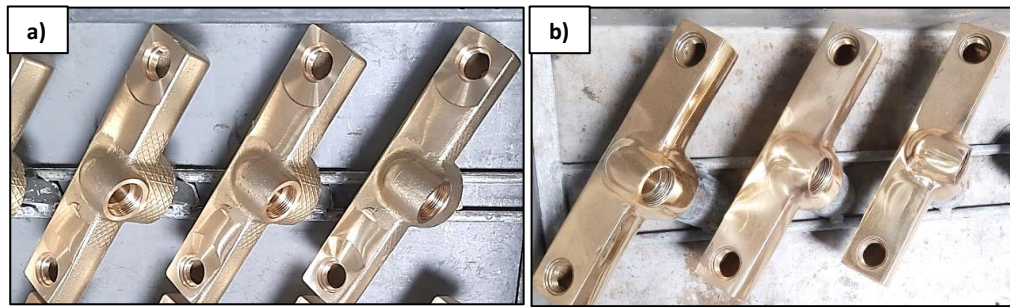


Figura 10 – a) Peça antes do processo de Lixamento e Polimento; b) Peça após o processo de Lixamento e Polimento;

Lixamento

Nesta etapa, as peças vindas da Maquinagem são cuidadosamente lixadas utilizando um dos 5 tipos de lixa, que diferem consoante o tamanho do grão e, conseqüentemente, capacidade de desbaste. Habitualmente, cada peça tem de passar por duas lixas, uma de grão grosso, que desbasta os segmentos irrelevantes da peça e outra de grão fino, que garante o acabamento desejado.

Polimento

O processo de Polimento é o responsável pelo abrilhantamento das peças. Neste processo, as peças passam por dois rolos distintos: um para polir e outro para dar brilho. Este é um processo relativamente simples, cuja execução raramente põe em causa a qualidade da peça.

Lavagem

Depois do Lixamento e Polimento, as peças passam por um posto de inspeção onde é garantida a qualidade e ausência de defeitos nas peças. As peças aprovadas são posteriormente enviadas para o processo de Lavagem, que é feito externamente. As peças – cuja aparência se mantém inalterada com o processo de lavagem – são enviadas à organização responsável pela lavagem e voltam à Empresa A, já lavadas, num intervalo de tempo de 3 dias. Apesar de a lavagem das peças garantir a eliminação de limalha, pó ou gordura que possa estar presente na peça, tem a desvantagem da impossibilidade de controlo do processo por parte da Empresa A.

Cromagem

Após a chegada do material já lavado, as torneiras são novamente inspecionadas. Para garantir o aspeto espelhado das peças e a sua resistência à corrosão, as torneiras são



Figura 11 – a) Torneira cromada, b) Operadores a carregar o bastidor com torneiras; c) Operadores a descarregar o bastidor com torneiras.

submetidas ao processo de Cromagem. Este acabamento é conseguido através do mergulho das peças num banho de cromo durante um tempo de ciclo de 7 minutos, no qual ganham aspeto espelhado (Figura 11a). As peças são inseridas nos ramos dos bastidores por operadores (Figura 11b) e, seguem, automaticamente, para o banho de cromo. Depois do banho, as peças são retiradas do bastidor pelos operadores e colocadas em caixas (Figura 11c).

Quando cromadas, as peças atingem o seu formato final. Depois deste processo, as peças são cuidadosamente armazenadas em caixas, salvaguardando qualquer acidente que as danifique. Depois de completa, cada caixa dá entrada no armazém, onde se mantém até ser montada.

Montagem

Por fim, conforme o programa enviado pelo responsável pelo planeamento, as torneiras conservadas em armazém são recolhidas e seguem até ao último processo – a Montagem.

As peças entram na secção de Montagem, na qual existem 9 linhas paralelas de produção. Cada linha está desenhada e adaptada para as referências que lhe estão associadas, permitindo a cooperação entre a máquina e o operador. A fração inicial da linha – manual – tem como objetivo a rápida montagem da torneira, podendo o operador aceder a todos

componentes sem se movimentar (Figura 12). A fração seguinte – automática – é responsável pelo teste da torneira já montada pelo operador. No fim da linha encontra-se outra fração manual na qual o operador embala as torneiras montadas, juntamente com os componentes necessários para o seu funcionamento (tubos flexíveis, manual de instruções, etc).



Figura 12 – Operador a montar a torneira.

Na linha, depois de embalado, o produto final⁵ é agrupado por paletes e arrumado no armazém até à sua expedição.

3.4. Âmbito da Intervenção do Instituto Kaizen

Desde a construção da fábrica da Empresa A, que o processo de Fundição e Maquinagem evoluiu para que fosse possível produzir a quantidade e diversidade de torneiras requisitada pelos seus clientes. Inicialmente, existiam três linhas que produziam continuamente apenas uma referência cada, o que indica que não era feita qualquer mudança de referência durante a produção. A procura diferenciada de torneiras levou à necessidade de construção posterior de mais duas linhas na secção. Atualmente, a Empresa A funde e maquina mais de 100 referências, distribuídas pelas cinco linhas de Fundição e Maquinagem.

Com a profunda mudança no paradigma de consumo e com a impossibilidade de investir milhares de euros na construção de novas linhas produtivas, a Empresa A viu-se

⁵ Apesar de a Empresa A ser conhecida pela produção de torneiras, o processo produtivo apenas contempla a produção do corpo metálico da torneira e o cartucho. Os restantes componentes que constam na caixa embalada são produzidos externamente.

forçada a adaptar o processo, inicialmente construído para produção contínua de uma só referência, num processo que implica a constante mudança de referência nas linhas.

O Instituto Kaizen foi contactado pela Empresa A com o objetivo de aumentar a produtividade e melhorar o nível de serviço da organização, sem comprometer a qualidade dos produtos. Para se perceber quais as áreas críticas no processo, foi mapeada a cadeia de valor, com recurso à ferramenta VSM (Figura 13). Durante a análise feita desde a entrada de matéria-prima na fábrica até à expedição do produto final, os diretores da Empresa A apontaram as maiores fragilidades e os fatores que impedem a melhoria do processo produtivo.

A partir das dificuldades apontadas durante o mapeamento, foram identificadas oportunidades de melhoria, cuja viabilidade e benefício foi calculado com base nos dados cedidos pela Empresa A. Foi analisado o estado inicial do *lead time* de cada fase de produção, o nível de serviço, as vendas por referência, os custos de transporte, os custos de armazenamento, as paragens por linha, a produtividade e a distribuição de recursos por setor.

Esta análise permitiu desenhar a visão futura, a implementar nos dois anos seguintes em colaboração com o Instituto Kaizen. A visão centra-se em quatro profundas mudanças:

- Redução do tempo de *setup* através da implementação da metodologia SMED nas linhas de Fundição e Maquinagem, para aumentar a capacidade da secção;
- Criação de um planeamento fidedigno através da aplicação das metodologias *Make to Order* e *Make to Stock* e do seguimento da cadeia de abastecimento da Empresa A;
- Criação de Supermercados de matéria-prima, de peças a cromar e de peças a montar;
- Implementação de regras *First In First Out* (FIFO) na secção de Limado e Polido e na Cromagem;

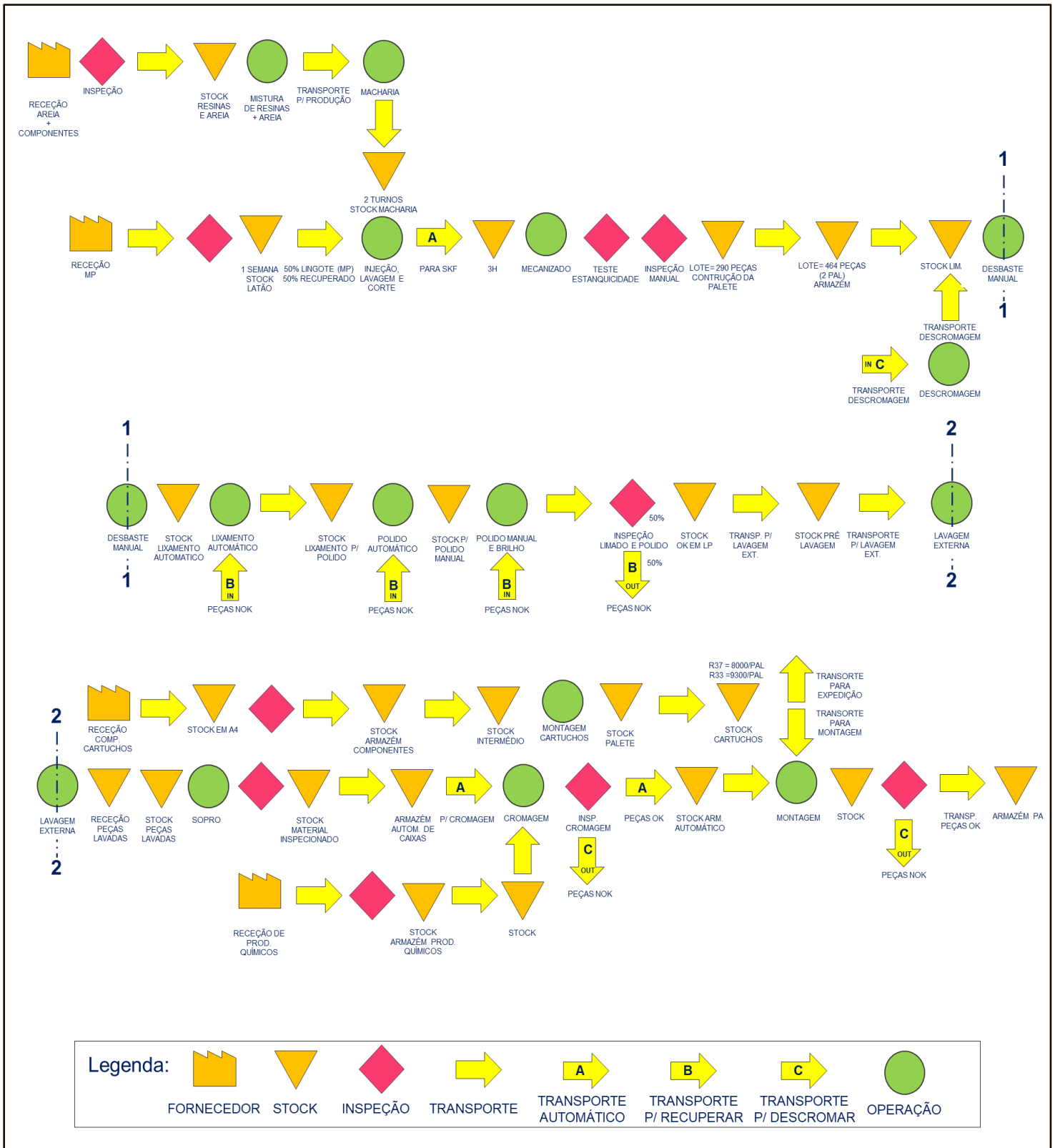


Figura 13 – Mapeamento do processo produtivo da Empresa A.

Para alcançar a visão futura, foram analisadas as principais causas de perda de produtividade da Empresa A. Da análise feita sobressaiu o problema que será alvo de discussão neste subcapítulo – o tempo de *setup* do processo de Fundição e Maquinagem

A ausência de ferramentas que garantam o funcionamento eficiente da adaptação que a Empresa A sofreu devido à mudança no paradigma de consumo, resultou em *setups* pouco eficientes e de elevada duração. Esta dificuldade fez com que a capacidade fosse afetada. De modo a quantificar este impacto (Tabela 7), foi calculada a utilização das máquinas através da seguinte equação:

$$\text{Utilização das máquinas [\%]} = \frac{\text{tempo em produção (h)}}{\text{tempo disponível (h)}}$$

Tabela 7 – Utilização das Máquinas das linhas da secção de Fundição e Maquinagem no ano 2020.

Linha	Utilização das Máquinas [%]
1	77,5%
2	68,3%
3	56,4%
4	94,1%
5	N/A
Valor Médio	74,1%

É possível observar que, para além da linha 4 – que apenas executou 4 *setups* em 2020 (Gráfico 3) – e da linha 5 que não tem dados passados disponíveis, a utilização das máquinas é inferior a 80%. O processo de Fundição e Maquinagem requer elevadas temperaturas, que implicam grandes tempos de espera entre arrefecimento e aquecimento, por isso, foi desenhado para a produção de grandes quantidades, ao contrário dos restantes processos da Empresa A, cujas operações são manuais e, portanto, facilmente ajustáveis à procura requerida.

A ineficácia na produção de séries de pequena dimensão, que implicam mudanças de referência constantes, fez com que a Empresa A não conseguisse absorver a procura requerida. A forma que a Empresa A encontrou para contornar este problema foi através da subcontratação de algumas referências, dirigindo o seu foco para as referências que a capacidade da fábrica permitia.

Para a resolução do problema, foi proposta a aplicação da metodologia SMED que viria trazer duas melhorias:

- Ganho de capacidade produtiva
 - A redução do tempo de *setup* permite que a máquina esteja menos tempo parada e que, por consequência, a sua capacidade possa ser mais bem aproveitada;
- Rentabilidade de séries mais curtas
 - Com *setups* lentos e séries curtas seria irrealista rentabilizar a produção, dado que a máquina passaria mais tempo parada do que a produzir. Só com *setups* rápidos é que a implementação de séries curtas se torna produtiva.

Para além do ganho evidente de produtividade no setor, a implementação de SMED trará uma vantagem indireta. Assim que o processo tiver uma maior capacidade de absorção de produção, vai ser possível internalizar as referências que outrora tiveram de ser externalizadas devido ao estrangulamento do setor. Assim que houver mais tempo disponível para produção, será possível internalizar as referências produzidas externamente.

Concluindo, a mudança nas tendências de mercado que buscam a diferenciação de produtos, complexificaram o processo produtivo da Empresa A, cuja secção de Fundição e Maquinagem foi contruída para a produção de grandes séries. Com a baixa rentabilidade das linhas, a capacidade produtiva da Empresa A não permitia a absorção da procura. Sendo este um problema de impacto elevado para a Empresa A, o Instituto Kaizen sugeriu iniciar a colaboração entre as duas entidades pela implementação da metodologia SMED na secção de Fundição e Maquinagem. O impacto direto esperado da implementação da metodologia será a diminuição do tempo de *setup* para, pelo menos 1h30 no *setup* de Fundição e 2h15 na secção de Maquinagem. Para além do impacto direto da implementação da metodologia, a direção definiu como que será expectável que haja um impacto indireto, através do aumento da capacidade da secção em, pelo menos, 3% garantindo que no futuro haverá capacidade para produzir as referências que, à data, são fabricadas externamente; um impacto energético, que reduza quer o custo energético, quer o consumo energético em, pelo menos 10%; uma maior flexibilidade para a execução de *setups*, que permita a execução de, pelo menos, o

dobro dos *setups* anualmente; uma diminuição de 90% do desperdício associado ao processo de *setup*, nomeadamente as deslocações desnecessárias.

4. IMPLEMENTAÇÃO *SINGLE MINUTE EXCHANGE OF DIE*

4.1. Introdução

A implementação da metodologia SMED nas linhas de Fundição e Maquinagem foi o primeiro projeto executado na Empresa A, em colaboração com o Instituto Kaizen. Para o realizar, foi criada uma equipa composta por membros da empresa, que acompanhou o *workshop* no decorrer da sua implementação. O primeiro passo do *workshop* foi perceber e definir em conjunto com os colaboradores o âmbito da implementação da metodologia.

Tendo em conta a complexidade associada ao *setup* das linhas de Fundição e Maquinagem, a empresa desde sempre separou o procedimento em três segmentos, associados à respetiva parte do processo (Tabela 8). São eles:

1. *Setup* da Macharia;
2. *Setup* da Fundição;
3. *Setup* da Maquinagem.

Tabela 8 - Segmentos do *Setup* nas linhas de Fundição e Maquinagem.

<i>Setup Secção Fundição e Maquinagem</i>		
Macharia	Fundição	Maquinagem
<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de Machos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina do Forno (X); • Máquina de Lavagem Rápida (Y); • Máquina de Corte (Z). 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de Ferramentas Cortantes (M); • Máquina de Teste Dimensional (N); • Máquina de Teste de Estanquicidade (P).
Nota: Não será contemplado.		

O *setup* da Macharia consiste na troca de ferramentas numa só máquina. Quando comparado com o *setup* executado nos restantes segmentos (Fundição e Maquinagem), a relevância para a implementação de SMED torna-se dispensável. Tendo em conta que o tempo de *setup* atual da Macharia já se encontra dentro do objetivo definido para os

restantes processos (apresentado adiante), este segmento não será explorado no âmbito da implementação de SMED.

O *setup* da Fundição consiste na troca de ferramentas das três máquinas associadas ao seu processo:

- Máquina do Forno – daqui em diante mencionada como máquina X;
- Máquina de Lavagem Rápida – daqui em diante mencionada como máquina Y;
- Máquina de Corte – daqui em diante mencionada como máquina Z;

O *setup* da Maquinagem consiste na troca de ferramentas das três máquinas associadas ao seu processo:

- Máquina de Ferramentas Cortantes – daqui em diante mencionada como máquina M;
- Máquina de Teste Dimensional – daqui em diante mencionada como máquina N;
- Máquina de Teste de Estanquicidade – daqui em diante mencionada como máquina P;

Assim sendo, a implementação da metodologia SMED focou-se nos segmentos de Fundição e de Maquinagem, aos quais a estratégia foi aplicada isoladamente. Apesar de as duas áreas estarem intimamente ligadas, o seu *setup* pode ser concretizado em simultâneo, apenas garantindo no fim do *setup* que o fluxo entre os dois segmentos do processo assegura a qualidade da peça.

O segundo passo do *workshop* foi definir a visão futura. Começou por se avaliar o ponto de partida do indicador selecionado para medir o impacto das melhorias implementadas – o tempo de *setup*. Tendo em conta que o tempo de *setup* é contabilizado desde a produção da última peça boa da referência que vai sair até à produção da primeira peça boa da referência que vai entrar, foram analisados os registos de tempo existentes.

Através dos registos disponibilizados pela Empresa A, relativos a 2019 e 2020, foram contempladas as seguintes análises: tempo médio de troca e tempo médio de paragem da linha dos segmentos da Fundição e Maquinagem (Tabela 9). Para definir o ponto de partida do indicador, foi utilizado o tempo de paragem da linha, dado que se aproxima mais da realidade do tempo de *setup*. À semelhança dos registos efetuados pela Empresa A, o indicador foi desdobrado em dois, sendo analisado daí em diante o tempo de *setup* da fundição e o tempo de *setup* da maquinagem.

Tabela 9⁶ – Registo do número de *setups*, tempo médio de troca e tempo médio de paragem da Fundição, tempo médio de troca e tempo médio de paragem da Maquinagem.

Ano	Linha	Quantidade de <i>setups</i>	Tempo médio troca Fundição [horas]	Tempo médio paragem Fundição [horas]	Tempo médio troca Maquinagem [horas]	Tempo médio paragem Maquinagem [horas]
2019	1	33	05:49:33	06:37:11	02:43:38	09:11:49
	2	29	04:08:38	06:44:11	03:37:16	07:21:27
	3	24	02:45:33	05:26:13	02:46:07	07:54:40
	4	14	03:01:00	03:45:00	01:29:00	05:41:00
	5	30	03:36:40	06:40:40	02:31:40	06:08:27
	Global	130	04:02:47	06:06:16	02:46:33	07:29:19
2020	1	25	02:54:51	06:06:13	04:03:34	05:51:04
	2	23	04:19:30	05:59:47	03:37:04	04:54:37
	3	23	02:22:40	04:15:13	02:53:53	04:34:27
	4	4	02:53:00	06:25:30	01:42:30	02:30:00
	5	11	01:55:00	05:15:30	05:37:30	05:58:45
	Global	86	03:15:00	05:40:54	03:37:11	05:00:28
Global	216	03:37:52	05:53:03	03:12:41	06:11:43	

Através da análise ao estado inicial, foi definido o ponto de partida (base) para o *workshop* de SMED. Baseado nas expectativas e nas oportunidades de melhoria detetadas no processo, foram definidos os seguintes objetivos para os dois indicadores:

⁶ Os tempos de 2021 não estão contemplados na análise por falta de registo.

Tabela 10 – Ponto de partida do tempo de *setup* da Fundição e Maquinagem.

Indicador	Tempo Base [horas]	Tempo Objetivo [horas]	Redução [%]
Tempo de Paragem da Linha Fundição	5:53	1:30	75%
Tempo de Paragem da Linha Maquinagem	6:11	2:15	64%

Estando a equipa formada, o problema definido e o objetivo estabelecido, foi iniciada a implementação da metodologia, que será explorada no subcapítulo subsequente.

4.2. Implementação

A equipa que desenvolveu trabalho no âmbito do SMED é composta por quatro operadores, dois chefes de setor e os diretores de Produção e Manutenção da Empresa A. As sessões de trabalho foram divididas consoante a implementação da metodologia, tendo sido feita inicialmente uma filmagem do *setup*, para que fosse possível realizar uma análise ao seu estado. Dessa análise, surgiu a separação de atividades externas e internas ao *setup*, que culminou na criação de um Modo Operatório, de forma a garantir a normalização e separação das tarefas. Por fim, foram expostas as oportunidades de melhoria e foi investigada a sua viabilidade.

Apesar de se tentar seguir a metodologia, foi sempre tido espírito crítico aquando da sua implementação. O SMED é, alegadamente, implementável em qualquer setor, mas acaba por ter algumas falhas, que serão atempadamente expostas.

4.2.1. Etapa A: Analisar o estado inicial, no qual as tarefas internas e externas ao *setup* não são distinguidas.

O primeiro passo para a implementação da metodologia SMED é a compreensão das tarefas do *setup*. Tal como Shingo (1985) sugere na literatura, para observar e posteriormente analisar o estado inicial do *setup*, deve ser feita uma gravação em vídeo de um *setup*.

Para definir qual a linha piloto na qual seria implementada a metodologia e, consequentemente, qual o *setup* a gravar, foram feitas duas análises:

- Número de *setups* por linha anualmente ;
- Frequência de entrada das referências em cada linha;

A análise primeira análise – apresentada no Gráfico 3 – indicia que ao longo dos anos as linhas com maior rotatividade de referências, ou seja, maior número de *setups*, são as Linhas 1 e 2. Apesar disso, de janeiro a abril de 2021, a Linha 5 evidencia uma maior rotatividade. Assim sendo, considerando a crescente rotatividade recentemente apresentada na Linha 5 e a maior acessibilidade que esta apresenta – as linhas 1 e 2, 3 e 4 estão, respectivamente, emparelhadas dificultando o seu acesso – a linha piloto selecionada foi a Linha 5.

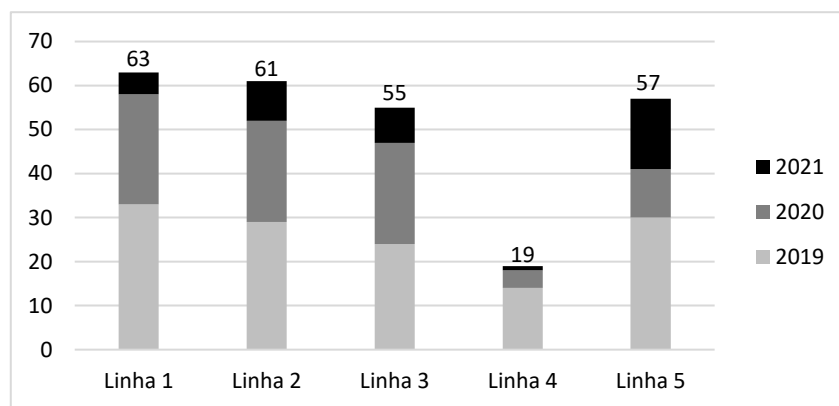


Gráfico 3 – Análise anual ao número de *setups* executados nas linhas de Fundição e Maquinagem desde janeiro de 2019 até abril de 2021.

Para poder testar e acompanhar os resultados da implementação da metodologia SMED, é importante selecionar um *setup* que ocorra com alguma frequência, garantindo que o *setup* a estudar é representativo da realidade da linha e que é facilmente comparável com *setups* futuros. Foi feita uma análise à frequência de entrada em produção⁷ de cada família produzida pela Empresa A na Linha 5.

⁷ A fórmula utilizada para calcular a frequência de entrada em produção de cada família é definida da seguinte forma:

$$\text{Frequência de entrada em produção da família X [\%]} = \frac{\text{Número de vezes que uma referência da família X entra em produção}}{\text{Número de setups}}$$

A Empresa A produz mais de 100 referências, o que obrigava a uma grande diversidade de referências que entram e saem das linhas. Posto isto, a frequência com que cada referência entra na linha será baixa. Estando a linha piloto selecionada, a análise foi direcionada para essa mesma linha (a Linha 5). Das famílias que esta linha produz, é destacada a família Banho Duche com uma frequência de entrada em linha de 39% (Tabela 11).

Tabela 11 – Análise à frequência de entrada em produção de cada família da Empresa A na linha 5 desde janeiro/2019 até abril/2021.

Família	Frequência de entrada em produção [%]
Banho Duche	39%
Lavatório	21%
Cozinha	18%
Duche	13%
Bidé	9%

Foi consultado o planeamento de *setups*, que indicou a entrada de uma referência da família Banho Duche em produção na semana seguinte. Estando a linha e a família de torneiras selecionada, estão reunidas as condições para realizar a gravação do *setup*. Após a gravação, foi convocada uma sessão para a sua análise, na qual foi dado início à Etapa B da implementação da metodologia SMED.

4.2.2. Etapa B: Separar as atividades externas e atividades internas ao *setup*.

O Etapa B da implementação da metodologia SMED implica que sejam separadas as atividades internas das atividades externas do *setup*. Depois da gravação do *setup*, foi necessário analisar as tarefas nele executadas. Para esta análise recorreu-se à ferramenta VSM – já utilizada anteriormente – e à ferramenta 3SM, dado que o mapeamento foi feito ao nível das tarefas do *setup*, que coincide com uma porção da primeira etapa desta metodologia.

O mapeamento (Figura 14) foi dividido nos dois segmentos de *setup* sob análise – Fundição e Maquinagem – e subdividido consoante o operador que executou o *setup*. Dado que cada operador estava, durante o *setup*, atribuído a uma máquina, é possível analisar o mapeamento sob o ponto de vista do operador ou da máquina. O mapeamento de cada operador/máquina está dividido pelas atividades executadas, contém a descrição das tarefas e a respetiva duração. As tarefas assinaladas a verde são tarefas internas, i.e., só são executáveis com a linha parada; e as tarefas assinaladas a vermelho são tarefas externas, i.e. tarefas que é possível executar enquanto a linha está a produzir.

A análise detalhada do *setup* e o seu mapeamento permitiu que todos os envolvidos compreendessem como é que o *setup* é dividido, qual o encadeamento de atividades atual e quais as tarefas desempenhadas na mudança de cada uma das máquinas, estimulando o espírito crítico e a identificação de oportunidades de melhoria. Só assim foi possível distinguir as atividades internas e as atividades externas ao *setup* e preparar a externalização das tarefas executáveis com a linha em funcionamento. Estando o *setup* mapeado e as atividades que é possível externalizar identificadas, foi possível dar início ao Etapa C.

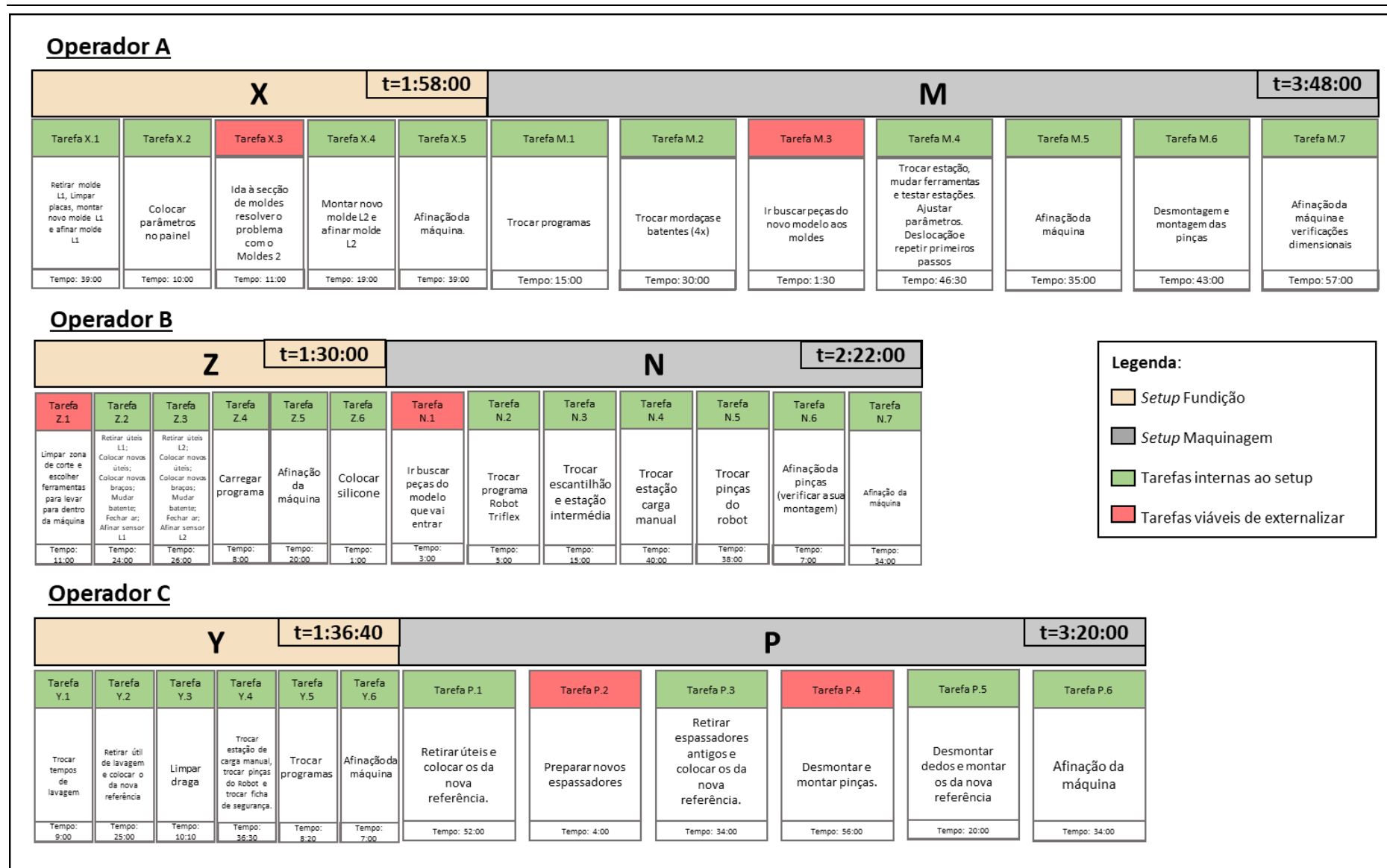


Figura 14 – Mapeamento das tarefas do *setup* filmado

4.2.3. Etapa C: Transformar as atividades internas ao *setup* em atividades externas.

A Etapa C permite a transição de tarefas internas para antes ou depois do *setup*, transformando-as em tarefas externas. Esta transição deve ser acompanhada de uma normalização do processo de *setup* e dos subprocessos adjacentes, que garanta a sua otimização. Assim sendo, este subcapítulo começa por abordar a conversão de tarefas internas em tarefas externas, seguida da normalização dos processos, que inclui a criação do modo operatório do *setup* e a *checklist* da preparação da paleta de *setup* (Figura 17).

É essencial mencionar que na implementação da Etapa C foram privilegiadas ações sem qualquer investimento, sendo apenas ponderados investimentos no Etapa D, quando são identificadas as oportunidades de melhoria.

Externalização de tarefas

Um dos fatores que *Shingo* (1985) distingue como disruptivos na aplicação de SMED é a transição de tarefas internas ao *setup* para tarefas externas. Durante o mapeamento (Etapa B), cada tarefa foi alvo de análise de possibilidade de transição para antes ou depois do *setup*. Caso fosse possível executar a tarefa com a linha a produzir, a tarefa seria assinalada a vermelho (Figura 14).

Tarefas como a preparação e organização do material para o *setup*, procura de peças ou componentes, pré-montagem e verificação do estado das peças, limpeza dos locais ou a formação dos operadores foram externalizadas para antes do *setup*. Tarefas como a arrumação e lavagem de material saído da linha, a entrega da linha – já com o *setup* executado – aos responsáveis de produção e a realização do relatório de *setup* foram transferidas para depois do *setup*.

Definir se é possível executar uma tarefa com a linha parada é simples. A complexidade associada à transferência de tarefas para o exterior do *setup* prende-se com a criação e manutenção do hábito de realização das tarefas antes ou depois da linha estar

parada. É comum os operadores – devido à azáfama diária, típica de ambiente fabril – esquecerem-se, apenas executando as tarefas externas quando a linha já parou de produzir. Por essa razão, é necessário garantir a normalização dos processos associados à redefinição da cronologia das tarefas do *setup* e assegurar que os operadores têm meios para os desempenhar.

Normalização de Processos

A normalização do trabalho, foi uma ferramenta essencial para a implementação de SMED nas linhas de Fundição e Maquinagem. No início do projeto, foi perceptível que não existia qualquer método de trabalho pelo qual os operadores se regessem para executar o *setup*. Por outras palavras, o *setup* era executado sem qualquer método definido, sendo as tarefas e o seu sequenciamento realizado empiricamente.

Na implementação de SMED, foi fundamental garantir que era criado um standard de operações do *setup*, não só para criar o hábito nos operadores que o executam, tornando-os mais ágeis, mas também para garantir que, caso haja rotatividade de recursos humanos na equipa de manutenção e/ou produção, os novos operadores têm as ferramentas necessárias para aprender rapidamente e consultar quando necessário. Para além da criação do modo operatório, foi necessário garantir que as operações que o suportam estão normalizadas, destacando-se a criação de uma *checklist* de preparação.

Criação do Modo Operatório

Com o intuito de garantir que as tarefas, agora externalizadas, são executadas enquanto a linha está a produzir e no sentido da normalização do processo de *setup*, foi criado um modo operatório da mudança, no qual estão incluídas todas as tarefas (internas e externas) do *setup*.

Na Empresa A o *setup* das linhas de Fundição e Maquinagem é feito através da colaboração das equipas de manutenção e produção. Para ser definido o modo operatório,

foi necessário averiguar as restrições de alocação de operadores às máquinas. Em certas máquinas, o *setup* só pode ser executado pela equipa de manutenção e outras exclusivamente pela equipa de produção. A equipa de manutenção é responsável pelo *setup* das máquinas Y, Z, N e P. A equipa de produção é responsável pelo *setup* das máquinas X e M. Este paradigma foi questionado e percebeu-se que as máquinas cujo *setup* é realizada pela produção são críticas para a garantia da qualidade das peças, o que obriga a alguma sensibilidade, que só os operadores de produção possuem.

Tendo em conta o trabalho existente para além dos *setups*, não existem recursos humanos suficientes para executar os *setups* das seis máquinas simultaneamente. Por conseguinte, decidiu executar-se o *setup* com os operadores já alocados para o efeito. Cada operador iria executar primeiro o *setup* numa das máquinas de Fundição e quando concluísse iria executar o *setup* numa máquina de Maquinagem. Assim sendo, a distribuição de máquinas pelos operadores foi proposta conforme descrito na Tabela 12

Tabela 12 – Distribuição de máquinas pelos operadores a executar o *setup* no estado inicial.

Operador	Equipa	Máquina (Fundição)	Máquina (Maquinagem)
Operador A	Produção	X	M
Operador B	Manutenção	Z	N
Operador C	Manutenção	Y	P

Ao tentar agrupar os tempos de *setup* das máquinas a que os operadores estão alocados, foi evidente um desbalanceamento de tarefas (Gráfico 4⁸). Se, como previsto, todos os operadores começarem o *setup* da Fundição em simultâneo e, assim que o terminarem, executarem o *setup* de Maquinagem, o Operador A irá acabar aproximadamente uma hora e cinquenta e cinco minutos depois do Operador B e cerca de cinquenta minutos depois do Operador C.

⁸ Dado que, antes da implementação do SMED, não eram realizados registos de tempo de *setup* de cada máquina, a análise refletida no Gráfico 1 tem por base os tempos registados no *setup* filmado no início da implementação da metodologia (Estágio B).

Observa-se pelo Gráfico 4 que a máquina cuja mudança é mais morosa é a máquina M. Não havendo mais nenhuma fonte de dados que confirme a veracidade desta análise, foi pedido aos operadores que elessem a máquina cuja mudança fosse mais demorada. A escolha coincidiu com a análise do Gráfico 4.

Quanto à máquina cuja mudança é mais curta, não foi possível retirar nenhuma conclusão. A variabilidade intrínseca ao tipo de mudança e a experiência dos operadores indicam, em concordância com o Gráfico 4, que as máquinas Y e a Z costumam estar equilibradas em termos de tempo de *setup*, sendo estas as menos morosas.

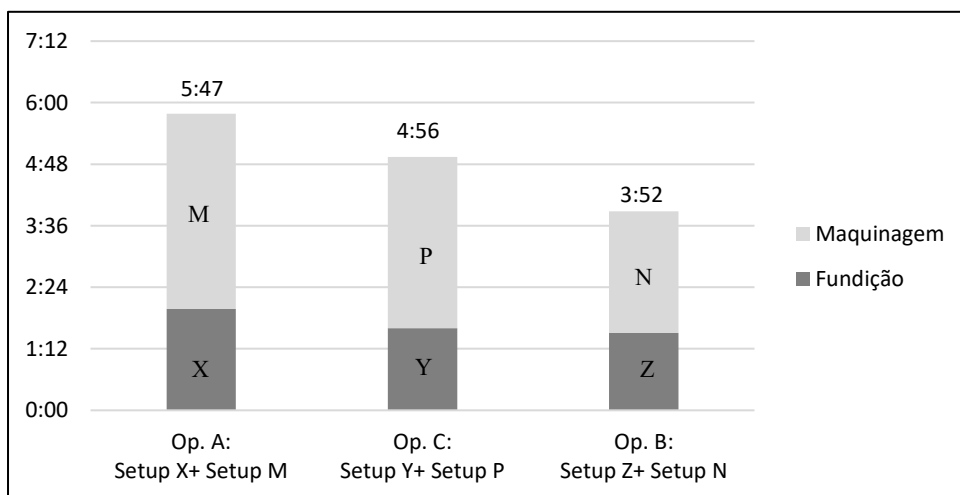


Gráfico 4 – Tempo médio de operador por máquina e tempo total com três operadores.

De modo a possibilitar a análise das causas para o tempo de *setup* atual, foram definidas quatro tipologias dentro do *setup*, nas quais as atividades de cada máquina foram enquadradas. São elas:

- Troca: Envolve todas as tarefas que envolvem a troca de elementos de um modelo para outro.
- Ajuste: Envolve todas as tarefas de ajuste de robots, inserção de novos programas e guarda de programas antigos;
- Preparação do *setup*: Envolve todas as atividades que é possível executar com a linha em funcionamento, quer antes, quer depois do *setup*;

- Erros/Avárias: Envolve todas as microparagens ou paragens provocadas por uma avaria ou erro no *setup* que possam afetar a produtividade da troca e que não acrescentem valor. Inclui também erros de compatibilidade de elementos e a busca por ajuda externa à mudança.

Tendo em conta que o Operador A é o que está atualmente com maior carga e que o *setup* da máquina M tem de ser executado apenas por um só operador do início ao fim (a afinação depende da troca das peças e é feita constantemente), foi analisada a representatividade das tipologias no tempo de *setup* da máquina X. Tendo em conta a representatividade da afinação (33%, que equivale a quase 50 minutos) no tempo de *setup* da máquina X (Gráfico 5) e que a afinação da máquina é realizada apenas depois da troca, decidiu introduzir-se um quarto operador no *setup* – o Operador D. Este operador seria apenas responsável pela afinação da máquina X, libertando o Operador A para a máquina M mais cedo.

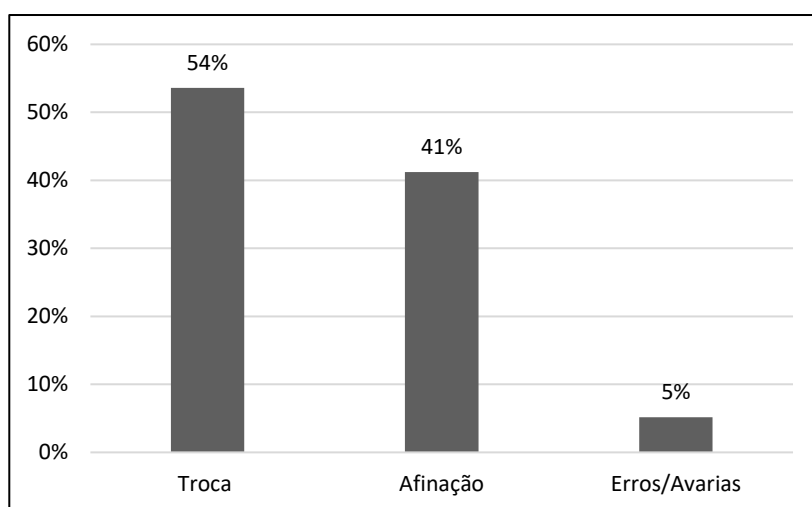


Gráfico 5 – Representatividade das tipologias no tempo de *setup* da máquina X através da análise retirada da gravação inicial do *setup*.

Relativamente ao desbalanceamento entre o operador B e o operador C, não foi implementada nenhuma melhoria definitiva. A variabilidade intrínseca ao *setup* não permite uma análise fidedigna da realidade através do Gráfico 7. A afinação tem um papel bastante influente no tempo de *setup* da máquina Z e da máquina N – cerca de 30%) (Anexo B), quando comparados com a máquina Y e máquina P, fazendo com que a sua mudança possa ser bastante mais morosa. A solução criada surgiu aquando da criação do modo operativo.

Foi, então, atualizada a tabela de distribuição de máquinas pelos operadores a executar o *setup* (proposta (Gráfico 6).

Tabela 13) e estimado o tempo médio por operador e o tempo total de *setup* com a alteração proposta (Gráfico 6).

Tabela 13 – Distribuição de máquinas pelos operadores a executar o *setup* no estado atual.

Operador	Equipa	Máquina (Fundição)	Máquina (Maquinagem)
Operador A	Manutenção	X (Troca)	M
Operador B	Produção	Z	N
Operador C	Produção	Y	P
Operador D	Produção	X (Afinação)	-

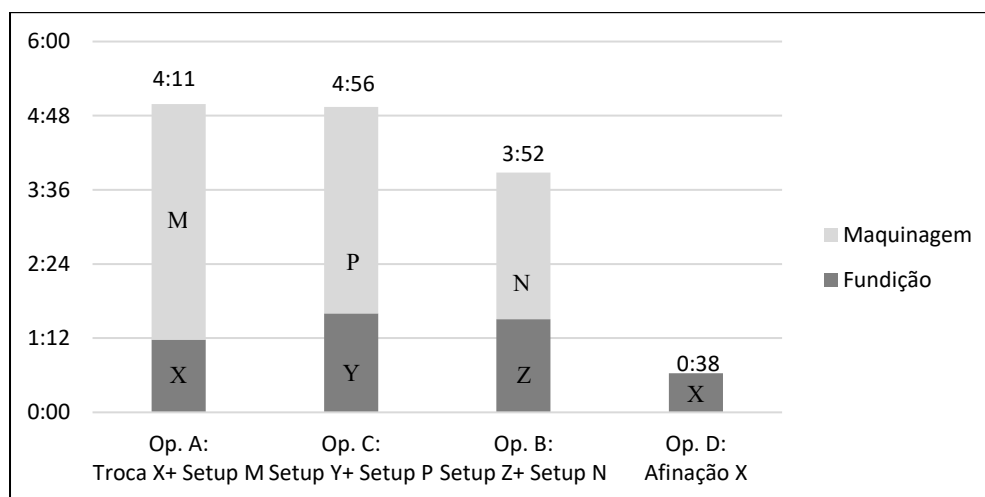


Gráfico 6 – Tempo médio de operador por máquina e tempo total com quatro operadores.

Depois de se obter a distribuição de operadores pelas máquinas, foi criado o modo operatório (Figura 15) para um *setup* executado por quatro operadores, baseado no mapeamento relativo à primeira mudança, na externalização de tarefas e nas limitações do processo.

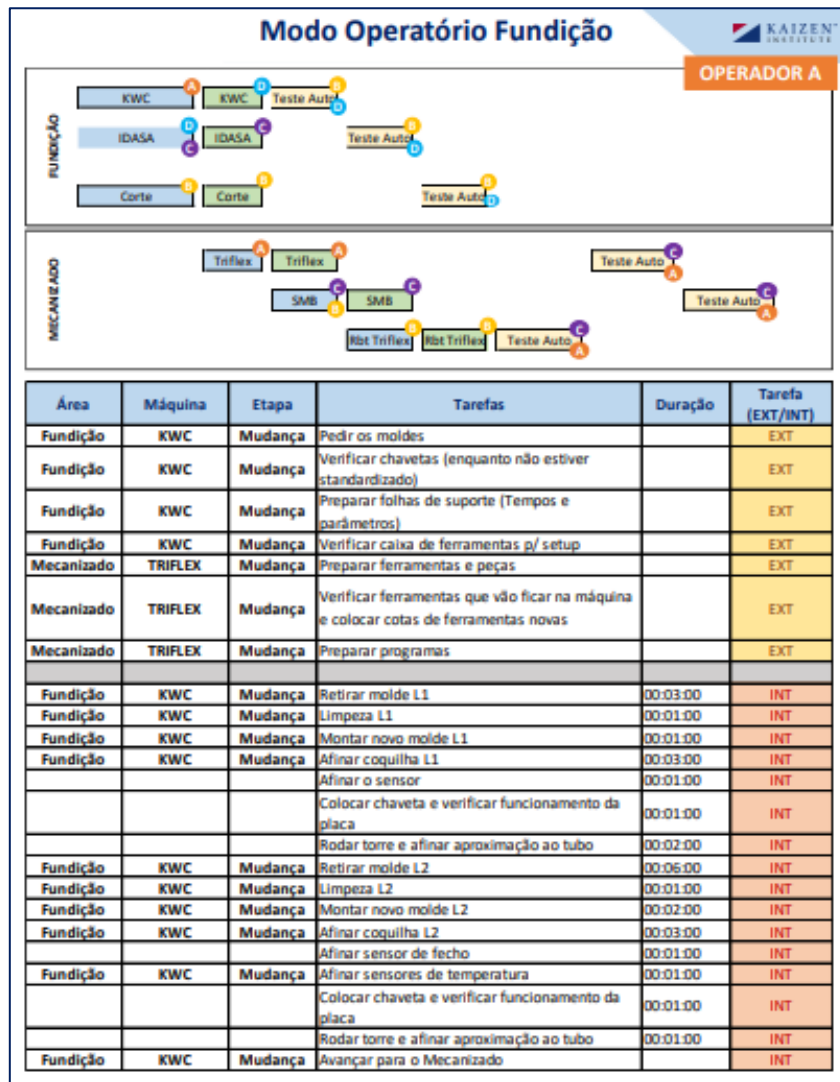


Figura 15 – Modo Operatório do *setup* de Fundição para o Operador A.

O modo operatório foi desenhado especificamente para cada operador, sendo de fácil consulta a qualquer momento do *setup*. Nele foram incluídas a descrição da tarefa, as ferramentas necessárias para a sua execução e o tempo médio que o operador demora a desempenhar a tarefa (baseado na gravação e confirmado nos *setups* seguintes).

Apesar de o modo operatório ser uma normalização do processo, os operadores quando o aplicam devem ter espírito crítico. Como mencionado anteriormente, existe um desbalanceamento entre o operador B e o Operador C. Para além do tempo de afinação, um dos aspetos que provoca maior variabilidade no tempo de *setup* da máquina N é a troca. Nesta máquina pode ser trocado apenas um elemento ou três. No caso de se trocar apenas a Estação de Carga Manual, a mudança é relativamente simples (caso analisado no Gráfico 5),

mas se for necessário trocar a cabeça do robot e a estação intermédia, o *setup* passa a ser mais complexo e consequentemente mais demorado.

Foi desenhada uma árvore de decisão (Figura 16) que define a regra que ajuda os operadores a decidir como atuar em qualquer um dos casos, otimizando sempre o tempo de mudança.

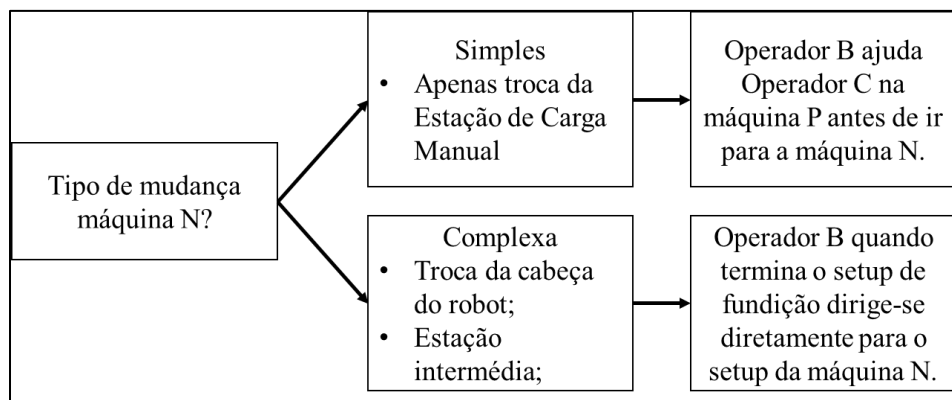


Figura 16 – Árvore de decisão das atividades do *setup*.

Através da inclusão da árvore de decisão no modo operatório, os operadores começaram a ter alguma flexibilidade e espírito crítico, entreadjudando-se para obter melhores tempos de *setup*. A atualização constante do modo operatório consoante o *feedback* dado pelos operadores, garante que a melhoria contínua desta ferramenta.

Checklist de Preparação

À semelhança do modo operatório, foi normalizada a preparação do *setup*, de forma a garantir que quando a máquina parar estará tudo pronto para começar o *setup*. A equipa demonstrou, desde início, alguma inércia quanto à preparação do *setup*. Por isso mesmo, foi desenvolvida uma *checklist* de preparação para garantir que nenhum elemento importante para a mudança era esquecido, prevenido deslocações desnecessárias e perdas de tempo. A *checklist* de preparação contém os seguintes elementos:

- Identificação da data, linha e referência que irá entrar;
- A palete de *setup* (Figura 17) está preparada?

- Os consumíveis da máquina P foram trocados?
- O Manual de *setup* foi atualizado?
- O backup está pronto?
- A equipa está formada?

Antes da mudança começar, a *checklist* deve ser preenchida, garantindo que quando o *setup* iniciar estará tudo preparado.

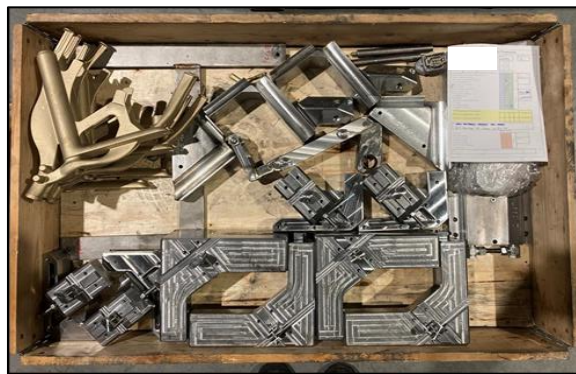


Figura 17 - Palete de *setup*.

Concluindo, através da implementação das melhorias apresentadas no Etapa C foi possível balancear as tarefas dos operadores e diminuir o seu tempo total (Tabela 14).

Tabela 14 – Comparação entre o tempo de *setup* antes da implementação da metodologia SMED e no fim da Etapa C da metodologia.

Operador	Tempo total de <i>setup</i> antes da implementação de SMED	Tempo total de <i>setup</i> na Etapa C
Operador A	5h47	3h08
Operador B	3h52	2h55
Operador C	4h56	3h13
Operador D	-	1h16

Para além das melhorias implementadas, percebeu-se a pertinência de acompanhar o impacto de cada uma das tipologias no tempo de *setup*. Antes da implementação da metodologia SMED na secção de Fundição e Maquinagem não era feito o registo do tempo de *setup* de cada uma das máquinas, mas sim o registo da hora de início e de fim do *setup* de cada segmento como um todo (Tabela 9). Para garantir a constante análise do indicador

definido inicialmente – tempo de *setup* – e de modo a perceber exatamente qual a o impacto que cada tipologia está a ter no *setup* de cada máquina, foi criada – durante o Etapa C – uma folha de registo, na qual os operadores inserem a hora de início e de término da sua função nas respetivas máquinas, bem como os erros/avarias que ocorrem.

Depois de analisar o estado do *setup*, externalizar as tarefas possíveis e normalizar o processo, é necessário analisar as oportunidades de melhoria que podem ser implementadas no processo, de modo a potenciar uma maior diminuição de tempo de *setup*. Esta análise e implementação é feita através da Etapa D, abordado de seguida.

4.2.4. Etapa D: Otimizar todos os aspetos do *setup*.

A última etapa da implementação da metodologia SMED é a otimização de todos os aspetos do *setup*. Esta otimização foi feita através da listagem de oportunidades de melhoria a implementar no processo, que foram posteriormente priorizadas e colocadas num plano de ação. O tema ao qual será dado destaque no presente subcapítulo é a afinação, um dos problemas mais enraizado no processo de *setup*.

A partir da análise do estado do *setup* e das suas dificuldades, foram propostas melhorias ao processo. Estas melhorias estavam maioritariamente relacionadas com quatro vertentes:

- Melhoria das ferramentas até agora implementadas (modo operatório, preparação do *setup*, etc);
- Comunicação entre setores e operadores;
- Investimentos;
- Melhoria do processo de afinação;

Foi então criada uma matriz de priorização das várias oportunidades, detalhada na Tabela 15.

Tabela 15 – Matriz de Impacto/Facilidade das oportunidades de melhoria do *setup*.

	Pouca facilidade	Muita facilidade
Impacto Elevado	<ul style="list-style-type: none"> • Teste dos tampões em substituição do silicone; • Formação robótica; • Uniformização das chavetas; • Uniformização da afinação dos <i>robots</i>; • Revisão das rotinas e nomes dos programas; • Criação de apertos rápidos na zona de lavagem; • Colocação de um centrador na zona de lavagem; 	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação da autonomia dos operadores a executar o <i>setup</i>; • Definição da antecedência com a qual as alterações de moldes têm de ser comunicadas à manutenção; • Criação de um ficheiro para o registo de erros/avarias no <i>setup</i>; • Planeamento da limpeza da zona de corte; • Aquisição de carros de <i>setup</i> para cada máquina; • Aquisição de pinças da máquina P; • Redesenho da ferramenta da máquina Z; • Inclusão da informação de produção e manutenção do <i>setup</i> num só manual, permitindo a sua subdivisão; • Arranjo do sensor de fecho na Linha 5; • Melhoria da visibilidade através da alteração das janelas da Linha 5; • Garantir a disponibilidade do calibre de qualidade;
Impacto Reduzido	<ul style="list-style-type: none"> • Análise da possibilidade de utilizar ferramentas de corte universais; 	

A melhoria das ferramentas implementadas nas etapas anteriores é um processo contínuo, garantido semanalmente através de uma reunião na qual é feito o ponto de situação com os Diretores de Produção e Manutenção. A comunicação entre setores e operadores foi resolvida de imediato, através de uma comunicação escrita na qual é cedida aos operadores de *setup* a liberdade de tomar decisões e na qual os setores estabeleceram um meio de comunicação, garantindo a preparação dos úteis atempadamente e sem erros.

As oportunidades de melhoria que necessitam de investimento estão, atualmente, sob orçamentação por parte da direção da Empresa A. As sugestões que necessitam de investimento e que são consideradas imprescindíveis são apresentadas de seguida:

- Aquisição de carros de *setup*
 - Irão garantir a organização do material, a eliminação de grande parte do desperdício de deslocamentos associado ao *setup*, irá melhorar a ergonomia do trabalho dos operadores, dado que permite que tenham o material pesado junto do local operatório;

- Compra de pinças extra para a máquina P
 - Irá permitir que a troca das pinças – cujo tempo médio de montagem é superior a 30 minutos – seja feita antes do *setup*, sendo poupada meia hora de troca;
- Redesenho da ferramenta da máquina Z para possibilitar apertos rápidos
 - Irá permitir que a troca da ferramenta seja feita de forma rápida, reduzindo o seu tempo de troca cerca de 15 minutos;
- Formação dos operadores em robótica
 - Irá permitir uma maior facilidade em afinar as máquinas e, consequentemente, num menor tempo de *setup*.

O último tema sobre o qual foram criadas oportunidades de melhoria foi a afinação. De modo a evidenciar o impacto do tempo de afinação no *setup* – posteriormente à implementação do Etapa C – foi feita a análise à representatividade das tipologias no tempo global de *setup*. A partir da análise ao Gráfico 7, conclui-se que – para além da troca em si – o que mais contribui para o tempo de *setup* é a afinação.

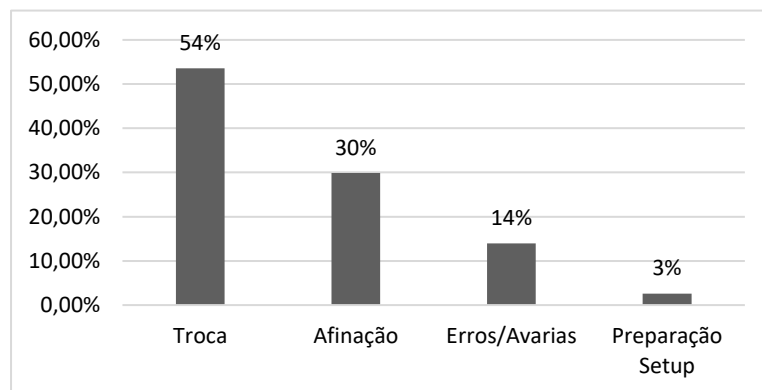



Gráfico 7 – Representatividade das tipologias definidas na Etapa B no tempo global de *setup* no final do Etapa C.

Foram encontradas três principais razões, que estão encadeadas. A primeira está relacionada com a falta de conhecimento de programação por parte dos operadores. A segunda razão está relacionada com a linguagem na qual os programas estão escritos (alemão). A terceira razão ocorre sempre que uma referência sai da linha e é mudado o programa dos robots. Quando é feita a troca de programas, é necessário guardar o programa anterior, garantindo que quando a referência volta a entrar em produção, a versão do

programa é a mais atualizada. Existe alguma dificuldade por parte dos operadores ao manusear a consola do robot, esquecendo-se de gravar o programa e, conseqüentemente, tendo de afinar os *robots* praticamente do zero.

O acumular destes três motivos fez com que a afinação fosse um dos fatores mais prejudiciais no tempo de *setup*. Assim sendo, a solução foi dividida em três partes: normalização da afinação, tradução dos programas e formação dos operadores.

Tendo em conta que a formação robótica que era necessária para a formação dos operadores – garantindo um conhecimento profundo da ferramenta – não é uma opção de resolução rápida, foram criadas normas de afinação (Figura 18) para cada uma das máquinas, servindo de auxílio à mudança e ajudando os operadores nesta que é a tarefa mais complexa do *setup*. A norma foi criada para cada uma das máquinas e foi especificada para cada uma das ações que se deseja que o robot faça. No seguimento da criação das normas, os operadores foram formados, recorrendo à norma sempre que necessitavam até criarem o hábito e memorizarem os conceitos nela contemplados. Paralelamente à criação das normas, todos os programas estão a ser traduzidos para português, o que irá auxiliar os operadores na compreensão do que a norma lhes indica.

Afinação KWC 

AFINAÇÃO – LOCALIZAÇÃO A RECOLHER/PEGAR COQUILHA

- ① Alterar o parametro da altura no painel do forno;
- ② Na consola do robot abrir a subrotina de "Pegar na coquilha" (especial->selecionar rotina);
- ③ Selecionar a linha da imagem abaixo;
- ④ Alterar os parâmetros consoante a necessidade;



④ L1, L3, L5

- Lado Ropper máquina machos
- Lado cabine corte
- Lado carregamento machos
- Lado cabine granalhar

④ L2, L4

- Lado cabine corte
- Lado Ropper máquina machos
- Lado cabine granalhar
- Lado carregamento machos

- ⑤ Testar.

Figura 18 – Norma de Afinação da máquina X.

Por fim, para garantir uma aprendizagem profunda dos robots, os operadores irão ter uma formação com o respetivo fornecedor, garantindo que estão aptos a manusear qualquer *robot* e que conseguem resolver agilmente qualquer problema que surja no âmbito da afinação.

4.2.5. Discussão de resultados

A implementação da metodologia SMED na secção de Fundição e Maquinagem teve o apoio de várias ferramentas *lean*, que ajudaram à concretização do objetivo: redução do tempo de *setup*.

O progresso do tempo de *setup* na linha 5 é visível através do Gráfico 8. Desde o início da implementação da metodologia SMED, houve uma evolução evidente no sentido da diminuição do tempo de *setup*. Apesar disso, aquando da escrita do presente documento, o objetivo proposto – 1h30 para o segmento de Fundição e 2h15 para o segmento de Maquinagem – ainda não tinha sido atingido.

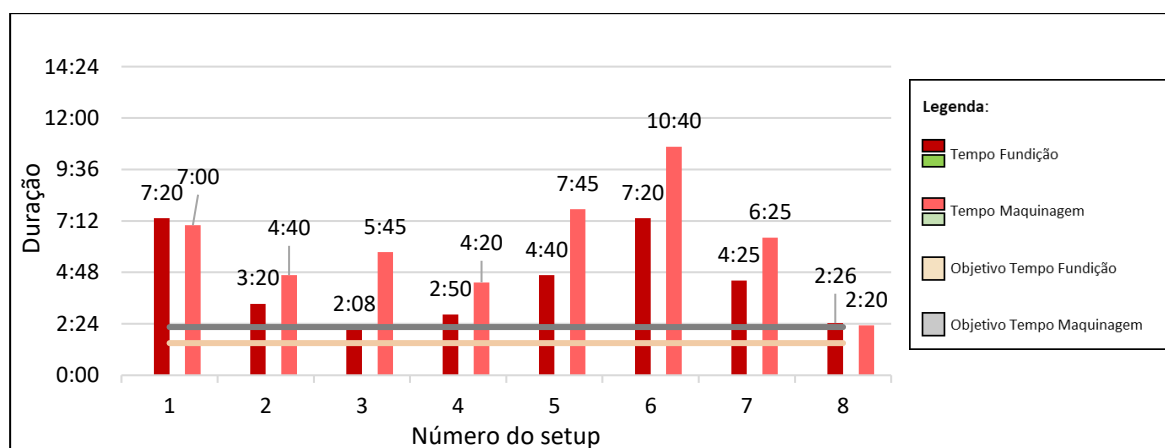


Gráfico 8º – Evolução do tempo de *setup* na linha 5.

A replicação das melhorias provenientes da implementação da metodologia SMED para as restantes linhas¹⁰, foi sendo gradualmente executada durante o mês de julho, podendo

⁹ O desvio no 6º *setup* deve-se ao desrespeito do modo operatório, tendo sido utilizado um número diferente de operadores relativamente ao recomendado.

¹⁰ A linha 4 apenas realizou um *setup* desde o início da implementação. Posto isso, não será alvo de análise.

observar-se a evolução do indicador em cada uma das linhas através do Gráfico 9, Gráfico 10 e Gráfico 11.

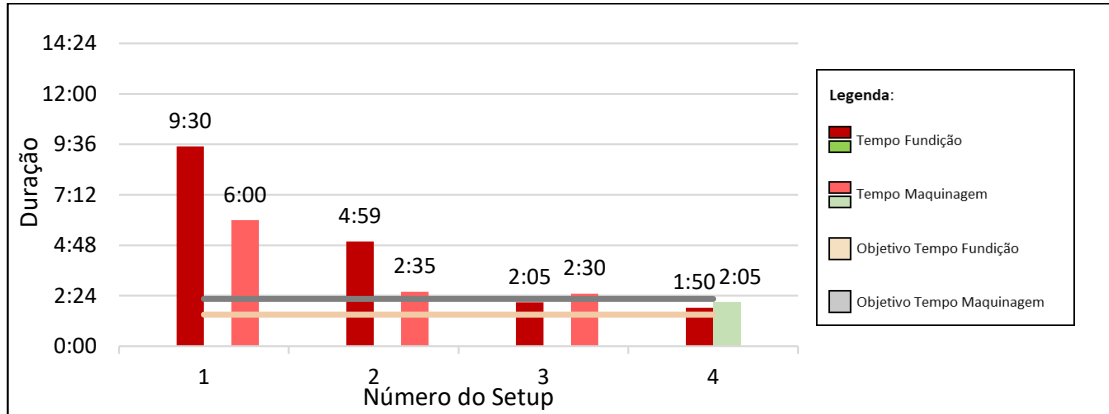


Gráfico 9 – Evolução do tempo de *setup* na linha 1.

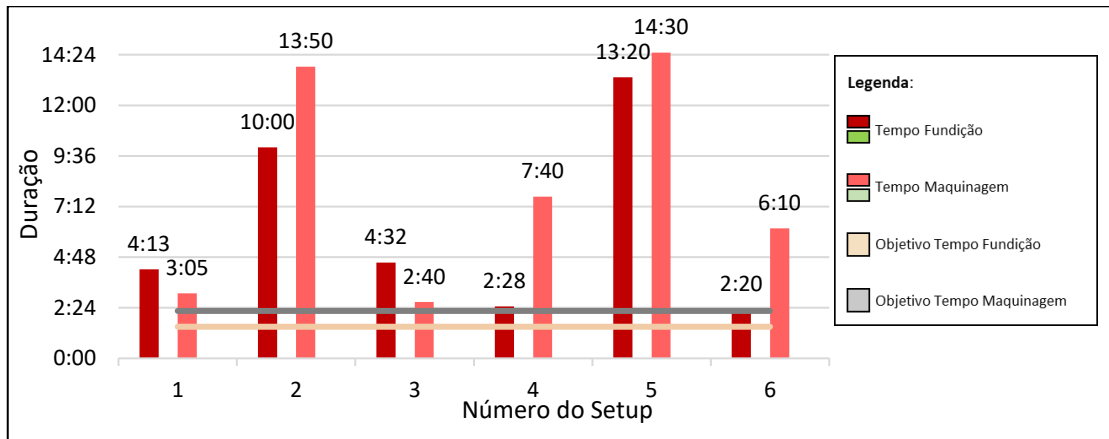


Gráfico 10 – Evolução do tempo de *setup* na linha 2.

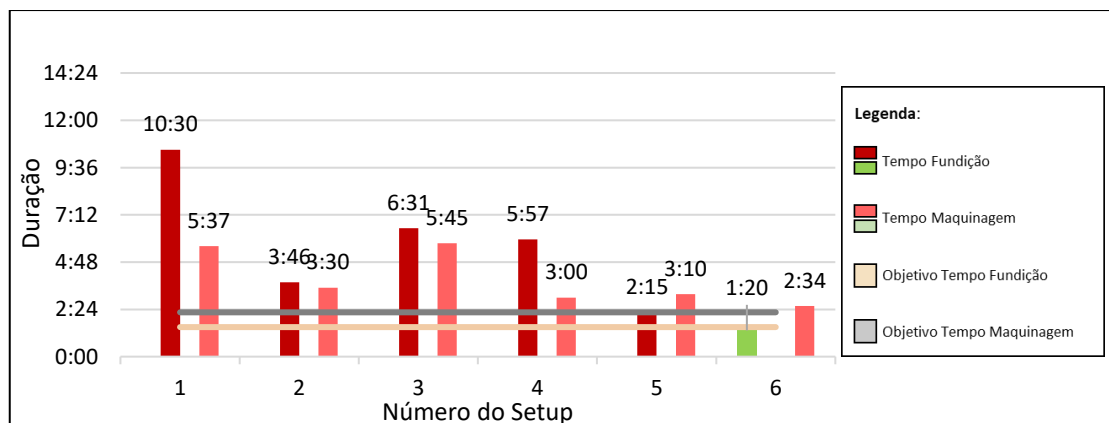


Gráfico 11 – Evolução do tempo de *setup* na linha 3.

O tempo atual de *setup* em cada uma das linhas, a respetiva redução, comparativamente ao ponto de partida e a distância ao objetivo encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Tempo de *setup* atingido com a implementação de SMED.

Linha	Tempo de <i>setup</i> [h]	Tempo de <i>setup</i> [h]	Redução [%]		Distância ao objetivo [h]	
	Fundição	Maquinagem	Fundição	Maquinagem	Fundição	Maquinagem
Linha 1	01:50	02:05	68,8%	66,3%	00:20	00:50
Linha 2	06:10	02:20	-4,8%	62,3%	04:40	01:05
Linha 3	01:20	02:34	77,3%	58,5%	Dentro do objetivo	01:19
Linha 5	02:26	02:20	58,6%	62,3%	00:56	01:05

É possível observar que todas as linhas – à exceção da linha 4 que não está a ser analisada por não ser submetida a *setups* – tiveram uma redução de tempo de *setup*, quer de Fundição, quer de Maquinagem de, pelo menos 50%, quando comparado com o valor base, à exceção do tempo de *setup* de Fundição da linha 2, que aumentou 4,8%. Este aumento é devido ao desgaste dos equipamentos de Fundição da linha, que, por nunca terem sido substituídos – ao contrário das outras linhas mais antigas, linha 1 e linha 3 – são difíceis de afinar, aumentando assim o tempo de *setup* desta parte.

Relativamente à distância ao objetivo, é possível constatar que na linha 3 o tempo de *setup* de Fundição já está dentro do objetivo, tendo sido executado pela última vez em apenas 1h20. À exceção do tempo de *setup* de Fundição da linha 2, todos os restantes indicadores têm uma distância ao objetivo menor ou igual a 65 minutos.

Apesar de os resultados atingidos terem sido significativos, o tempo de *setup* ainda se encontra longe do objetivo. Isto deve-se maioritariamente à dificuldade em afinar as máquinas, cujo estado de conservação já se encontra deteriorado devido ao elevado número de anos sob uso. De modo a conseguir atingir o objetivo, foram propostas mudanças no *setup* que implicam investimento (analisadas na Etapa D), que estão atualmente sob orçamentação por parte da Empresa A.

Assim sendo, os trabalhos futuros que será necessário realizar para atingir o tempo de *setup* desejado, dependem diretamente da aplicação dos investimentos propostos e de uma melhor definição das causas da dificuldade em afinar as máquinas. Para além da aplicação dos investimentos, é necessário continuar a seguir o indicador de tempo de *setup* e analisar frequentemente as causas dos desvios, originando ações para os evitar.

4.2.6. Conclusões e Trabalhos futuros

A implementação da metodologia SMED iniciou-se com a análise do estado inicial, tendo começado por se analisar o histórico do tempo de *setup* da Fundição e do tempo de *setup* da Maquinagem, que permitiu definir o tempo base como 5h53 e 6h11, respetivamente. Com base nas expectativas da equipa e nas oportunidades de melhoria detetadas, foi possível definir um objetivo para os indicadores de 1h30 e 2h15, respetivamente. Por fim, decidiu-se, com base na frequência de *setups* por linha e na acessibilidade da mesma, que a linha piloto para a implementação da metodologia seria a linha 5.

Estando o objetivo e a linha piloto definidos, foi feita uma gravação para compreender o estado inicial do *setup*. A filmagem foi analisada e – com recurso à ferramenta 3SM – foram mapeadas as tarefas do *setup*, identificando quais as tarefas internas e externas ao *setup*. Posteriormente, foram externalizadas as tarefas e, para garantir a normalização do processo, as tarefas do *setup* foram normalizadas num modo operatório. A preparação do *setup* foi, também, estandardizada numa *checklist* de preparação. Por fim, seguiu-se a análise das oportunidades de melhoria com vista à otimização do *setup*, na qual se destaca a criação de normas de afinação, que visam auxiliar os operadores na tarefa, aparentemente, mais complexa do *setup*.

Através da implementação da metodologia SMED conclui-se que, no espaço de meio ano a redução média do tempo de *setup* de Fundição foi de 50% e a redução média do tempo

de *setup* de Maquinagem foi de 62,3%. Apesar disso, a média da distância ao objetivo de Fundição é de 1h30 e a média da distância ao objetivo de Maquinagem é de 1h05.

Concluindo – não obstante a metodologia apresentada por Shingo (1985) garantir resultados brilhantes – a crítica realizada ao SMED (Insuficiências da Metodologia SMED) é confirmada no desenvolver do presente trabalho. Através dos resultados apresentados no espaço de seis meses, é possível concluir que a indústria sob estudo necessita de uma implementação flexível, que permita a modificação física dos equipamentos das linhas produtivas (que atualmente apresentam falhas devido à sua constante manipulação). Para além disso, é recomendada a formação da equipa na linguagem de programação, para que a afinação dos equipamentos se torne instintiva.

Por fim, apesar de o benefício da implementação da metodologia SMED ser diretamente exposto através da redução do tempo de *setup*, a implementação da metodologia teve impacto colateralmente. Através do aumento da capacidade, surgiu a possibilidade de desligar uma das linhas produtivas, diminuindo o consumo energético. Para além disso, os operadores começaram a ter melhores condições de trabalho e o desperdício de movimentações começou a ser eliminado. Portanto, percebeu-se que o impacto da implementação da metodologia vai para além da diminuição de tempo de *setup*. Assim sendo, o capítulo seguinte será dedicado à análise e quantificação deste impacto.

5. ANÁLISE AO IMPACTO COLATERAL DA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA SMED

5.1. Introdução

O impacto holístico da implementação da metodologia SMED tem sido altamente negligenciado na literatura (Ebrahimi et al., 2021). Apesar de o seu impacto direto ser a redução do tempo de *setup*, a metodologia SMED afeta indiretamente as vertentes económica, social e ambiental.

Como explorado no quarto capítulo, a necessidade de analisar para além do tempo de *setup* prende-se maioritariamente com a observação de possíveis melhorias adjacentes, como as reduções no gasto de energia, a melhoria nas condições de trabalho ou até a redução nos gastos operacionais. No presente capítulo será feita esta análise, utilizando como base a metodologia *Sustainable Setup Stream Mapping* (3SM), que consiste numa adaptação da ferramenta VSM – na qual são separadas atividades de valor acrescentado das atividades de valor não acrescentado – numa tentativa de análise meticulosa ao estado e possíveis melhorias no *setup*. Para além da análise e aplicação de melhoria ao *setup*, a metodologia 3SM é estendida à avaliação do impacto das vertentes TBL no *setup* e noutros processos nos quais seja relevante. Esta metodologia é, na sua essência, uma expansão da metodologia SMED, focada no impacto dos pilares da sustentabilidade no processo como um todo, para além da fronteira das atividades do *setup*.

Quando apresentada por Ebrahimi (2021), a metodologia 3SM foi aplicada a uma indústria de eletrodomésticos, que se mostra adaptável à metodologia, maioritariamente, pelo facto de os processos serem dependentes uns dos outros a nível temporal. Assim sendo, no caso de estudo apresentado por Ebrahimi (2021), a metodologia contempla a análise dos vários indicadores em cada um dos processos definidos inicialmente.

No processo produtivo da Empresa A, quando é executado o *setup* sob estudo, apenas é impactado o processo no qual está a ser executado – nas linhas de Fundação e Maquinagem.

A pertinência da análise do impacto da metodologia SMED nos restantes processos perde relevância, dado que os processos não são dependentes ao nível do *setup* – maioritariamente graças ao elevado nível de stock, que caso seja alterado irá impactar a dependência dos processos.

Assim sendo, o presente capítulo é subdividido em três sub-secções. Começou por ser mapeado o Estado Inicial do processo, do *setup* e das respetivas atividades. De seguida foram definidos os indicadores a avaliar e foi quantificado o impacto de cada um no Estado Inicial, Estado Atual e no Estado Futuro. Por fim, foram tecidas conclusões acerca da análise realizada.

5.2. Mapeamento do processo, do *setup* e das respetivas atividades.

No primeiro passo da implementação da metodologia 3SM, são mapeados três níveis de profundidade. De modo a adaptar a metodologia 3SM à complexidade associada ao processo de *setup* de Fundição e de Maquinagem, os três níveis foram divididos da seguinte forma:

- O primeiro nível é o patamar holístico do mapeamento. Neste nível é mapeado o processo produtivo da Empresa A, ou seja, é feito o mapeamento macro da sua cadeia de valor;
- No segundo nível, são mapeadas cronológica e paralelamente as atividades dos três operadores que executam o *setup*, no qual são apresentadas as 6 máquinas sujeitas à troca de modelo;
- No terceiro nível, são desdobradas as atividades mapeadas no segundo nível, sendo apresentadas as tarefas que são executadas – atualmente – no *setup* de cada máquina.

A combinação dos três patamares acima descritos culminou no esquema apresentado na Figura 19. Através da análise do esquema, é perceptível o enquadramento do *setup* na cadeia de valor da Empresa A e, conseqüentemente, a sua importância.

Após o mapeamento, segue-se a etapa de escolha e análise dos indicadores de sustentabilidade, que será abordada no subcapítulo 5.2.

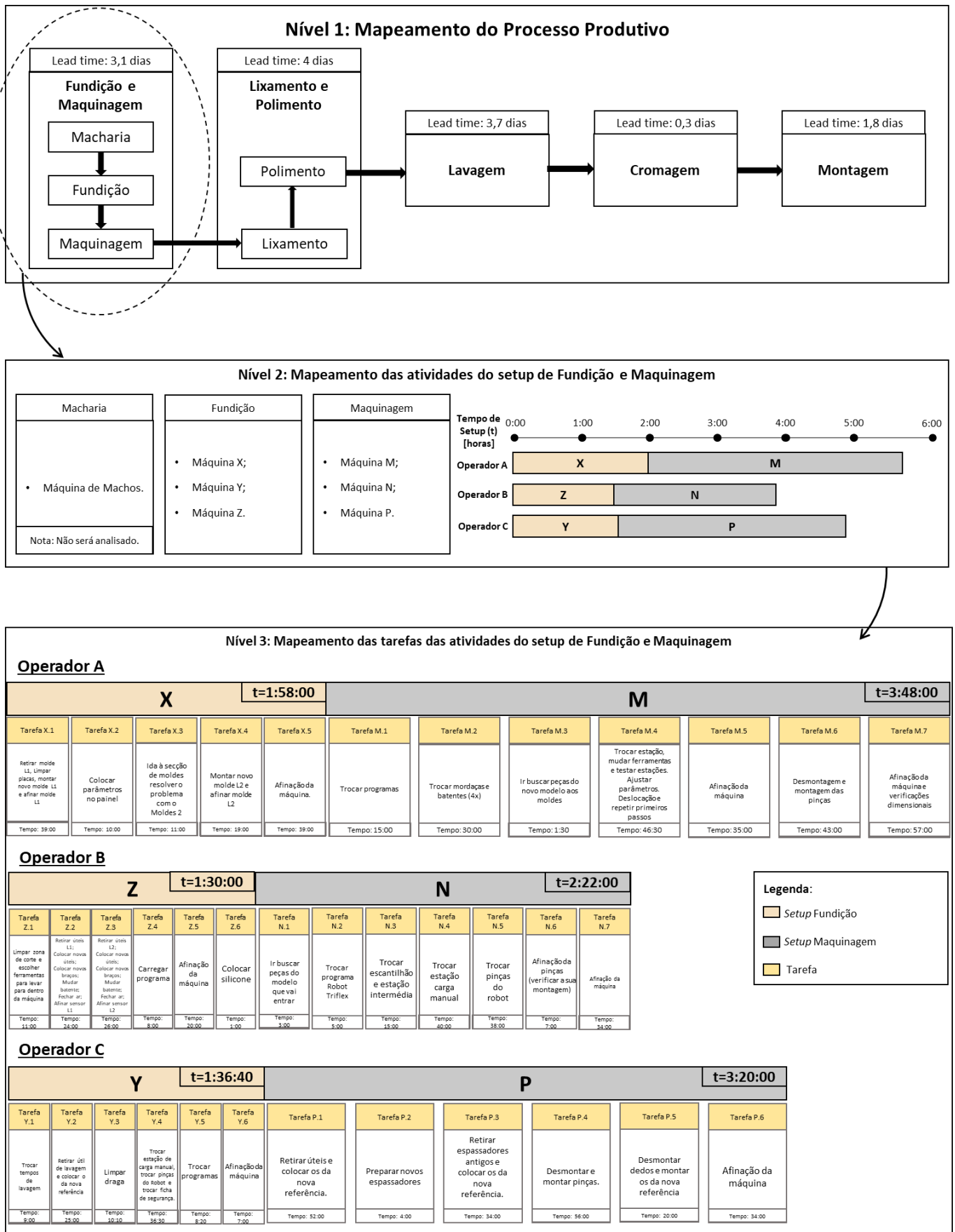


Figura 19 – Mapeamento dos três níveis: Processo produtivo, atividades do setup e tarefas do setup.

5.3. Escolha e análise dos critérios de sustentabilidade

Após o mapeamento do Estado Inicial, é importante definir quais os indicadores a analisar e quantificar o seu impacto no estado inicial, atual e futuro. A escolha dos indicadores – contemplados na Tabela 17 – foi suportada pela literatura, limitada pelos dados disponíveis e acordada com a direção da Empresa A.

Assim sendo, o presente subcapítulo irá focar-se em cada um dos indicadores selecionados com o objetivo de justificar a sua escolha e, posteriormente, realizar uma análise ao seu impacto.

Tabela 17 – Indicadores de sustentabilidade selecionados.

Pilar de Sustentabilidade	Área de Sustentabilidade	Indicador de sustentabilidade
Económico	Capacidade	Capacidade Produtiva (unidades)
	Custo	Custo do <i>setup</i> (€)
Ambiental	Consumo	Consumo de Energia (kWh)
Social	Movimentação	Movimentação no <i>Setup</i> (m)
	Energia Humana	Trabalho de transporte de Cargas (J)

Como mencionado anteriormente, a análise do impacto dos indicadores será feita no processo de Fundição e Maquinagem, dado que é nas linhas produtivas deste setor que é executado o *setup*. Esta análise será feita em três estados: o Estado Inicial, que representa o estado antes da implementação da metodologia SMED; o Estado Atual, que representa o estado presente, após a implementação de SMED, ainda não estando o objetivo atingido; e o Estado Futuro, que representa, na teoria, o estado quando o objetivo para o tempo de *setup* de Fundição e de Maquinagem forem atingidos.

5.3.1. Indicadores Económicos

A nível económico, foram seleccionados dois indicadores, que foram impactados pela implementação da metodologia SMED. São eles a capacidade produtiva e o custo de *setup*.

5.3.1.1. Capacidade Produtiva

Ao variar o tempo de *setup* na secção de Fundição e Maquinagem, a capacidade produtiva das linhas desta secção será impactada. Neste subcapítulo será quantificado o impacto que a redução do tempo de *setup* – imposta através da implementação da metodologia SMED – terá na capacidade da Empresa A.

Estado Inicial

De modo a obter a capacidade das linhas de Fundição e Maquinagem, foi necessário averiguar o tempo de ciclo das peças produzidas e a respetiva representatividade de produção. Através da tabela presente no Anexo C, foi calculada a média ponderada do tempo de ciclo de Fundição e de Maquinagem. Obteve-se um tempo de ciclo de 16,9 segundos e 17,9 respetivamente.

Através do tempo de ciclo obtido, foi possível calcular a capacidade produtiva das linhas. Sabendo que, em média, cada linha tem um *setup* por semana, cuja duração base é de 5h53 para a Fundição e 6h11 para a Maquinagem e que a secção de Fundição e Maquinagem trabalha a dois turnos de 8h e tem – em média – 2h diárias de micro-paragens/avarias, é possível estimar a capacidade diária de cada linha:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição [unidades/linha]} &= \frac{\left(14h - \frac{5h53}{5}\right) * 3600}{15,1} = \\ &= 2726,7 \text{ unidades/linha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Maquinagem [unidades/linha]} &= \frac{\left(14h - \frac{6h11}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2568,2 \text{ unidades/linha} \end{aligned}$$

Considerando que em 2021 haverá 253 dias úteis dos quais 21 dias a fábrica estará de férias, é possível calcular a capacidade anual da secção:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Anual de Fundição [unidades]} \\ &= 5 \text{ linhas} * 2726,7 \text{ unidades} * (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) \\ &\cong 3\,163\,030 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Anual de Maquinagem [unidades]} \\ &= 5 \text{ linhas} * 2568,2 \text{ unidades} * (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) \\ &\cong 2\,979\,084 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

A capacidade de Maquinagem é inferior à capacidade de Fundição dado que, para certos modelos, a Maquinagem implica a execução de detalhes precisos nas peças, o que torna o seu tempo de ciclo mais elevado.

Considerando a taxa de rejeição – devido a defeitos – de cada secção (Tabela 18), é possível calcular a quantidade de unidades com qualidade obtidas ao longo do processo.

Tabela 18 – Taxa de rejeição de peças nos processos da Empresa A.

Secção	Taxa de Rejeição (%)
Fundição e Maquinagem	0,21%
Lixamento e Polimento	0,33%
Lavagem	1,05%
Cromagem	0,41%
Montagem	0,11%

$$\begin{aligned} \text{Peças rejeitadas anualmente [unidades]} \\ &= 2\,979\,084 * (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%) \\ &\cong 62561 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\text{Peças para venda [unidades]} = 1\,174\,616 - 62561 = 2\,916\,523 \text{ unidades}$$

Assim sendo, a Empresa A produz anualmente cerca de 2 916 523 unidades de torneiras.

Para calcular o lucro estimado com a produção de torneiras, foi determinada a média ponderada entre a representatividade de cada referência em produção e o respetivo lucro, apresentados no Anexo C. Considerando que os custos e lucros se mantêm constantes, foi estimado um valor de 12,4 €/peça. Assim sendo, considerando que todas as peças para venda

serão vendidas, é possível estimar que no Estado Inicial, o lucro obtido através da venda das torneiras produzidas é cerca de 36 164 885 €.

Estado Atual

Do Estado Inicial para o Estado Atual, a alteração que ocorreu foi a redução de *setup*, que permitiu um maior tempo de produção. Assim sendo, através do tempo atual de *setup* de Fundição e Maquinagem, que se encontra na Tabela 16, começou por se calcular a capacidade de Fundição das cinco linhas:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição L1 [unidades/dia]} \\ = \frac{\left(14h - \frac{1h50}{5}\right) * 3600}{15,1} = 2899,0 \text{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição L2 [unidades/dia]} \\ = \frac{\left(14h - \frac{6h10}{5}\right) * 3600}{15,1} = 2714,7 \text{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição L3 [unidades/dia]} \\ = \frac{\left(14h - \frac{1h20}{5}\right) * 3600}{15,1} = 2920,3 \text{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição L4 [unidades/dia]} \\ = \frac{\left(14h - \frac{5h53}{5}\right) * 3600}{15,1} = 2726,8 \text{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição L5 [unidades/dia]} \\ = \frac{\left(14h - \frac{2h26}{5}\right) * 3600}{15,1} = 2924,7 \text{ unidades/dia} \end{aligned}$$

De seguida, foi calculada a capacidade anual de Fundição:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Anual de Fundição [unidades]} &= \\ &= (2899,0 + 2714,4 + 2920,3 + 2726,8 + 2924,7) \text{ unidades} \\ &* (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) \cong 3\,291\,020 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

De igual forma, foi calculada a capacidade diária de Maquinagem em cada uma das linhas:

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Diária Maquinagem L1 [unidades/dia]} \\ &= \frac{\left(14h - \frac{2h05}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2733,2 \textit{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Diária Maquinagem L2 [unidades/dia]} \\ &= \frac{\left(14h - \frac{2h20}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2785,7 \textit{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Diária Maquinagem L3 [unidades/dia]} \\ &= \frac{\left(14h - \frac{2h34}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2713,7 \textit{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Diária Maquinagem L4 unidades/dia} \\ &= \frac{\left(14h - \frac{6h11}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2568,2 \textit{ unidades/dia} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Diária Maquinagem L5 [unidades/dia]} \\ &= \frac{\left(14h - \frac{2h20}{5}\right) * 3600}{19,8} = \\ &= 2723,1 \textit{ unidades/dia} \end{aligned}$$

Que permite obter a capacidade anual de Maquinagem:

$$\begin{aligned} & \textit{Capacidade Anual de Maquinagem [unidades/ano]} \\ &= (2733,2 + 2785,7 + 2713,7 + 2568,2 + 2723,1) \textit{ unidades} \\ &* (253 \textit{ dias} - 21 \textit{ dias}) \cong 3137543 \textit{ unidades/ano} \end{aligned}$$

Por fim, são calculadas as peças rejeitadas anualmente e a estimativa do lucro obtido da produção de torneiras:

$$\begin{aligned} & \textit{Peças rejeitadas anualmente} \\ &= 3137543 * (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%) \\ &\cong 65889 \textit{ unidades/ano} \end{aligned}$$

$$\textit{Peças para venda} = 3\ 137\ 543 - 65\ 889 = 3\ 071\ 655 \textit{ unidades/ano}$$

$$\textit{Lucro [€]} = 3\ 071\ 655 * 12,4 = 38\ 088\ 522\text{€}$$

Assim sendo, assumindo que tudo o que é produzido é posteriormente vendido e que os custos se mantêm constantes, o ganho obtido através do aumento de capacidade graças à implementação da metodologia SMED trará um benefício de 1 923 637 €, traduzido através do aumento de 5% de capacidade relativamente ao Estado Inicial.

Estado Futuro

No Estado Futuro, o objetivo de tempo de *setup* (1h30 para Fundição e 2h15 para Maquinagem) já terá sido atingido em todas as linhas produtivas, o que permite o cálculo da capacidade futura das linhas de Fundição e Maquinagem:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Fundição [unidades/linha]} &= \frac{\left(14h - \frac{1h30}{5}\right) * 3600}{15,1} \\ &= 2913,1 \text{ unidades/linha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Diária Maquinagem [unidades/linha]} &= \frac{\left(14h - \frac{2h15}{5}\right) * 3600}{19,8} \\ &= 2726,4 \text{ unidades/linha} \end{aligned}$$

Assim sendo, pode calcular-se a capacidade anual de Fundição e de Maquinagem:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Anual de Fundição [unidades]} \\ &= 5 \text{ linhas} * 2913,1 \text{ unidades} * (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) \\ &\cong 3\,379\,271 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade Anual de Maquinagem [unidades]} \\ &= 5 \text{ linhas} * 2726,4 \text{ unidades} * (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) \\ &\cong 3\,162\,700 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

Considerando a rejeição associada aos vários processos produtivos, foi possível calcular a quantidade de peças para venda e o respetivo lucro:

$$\begin{aligned} \text{Peças rejeitadas anualmente} \\ &= 3162700 * (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%) \\ &\cong 66417 \text{ unidades/ano} \end{aligned}$$

$$\text{Peças para venda} = 3162700 - 66417 = 3\,096\,283 \text{ unidades/ano}$$

$$\text{Lucro [€]} = 3\,096\,283 * 12,4 = 38\,393\,909,2 \text{ €}$$

Concluindo, através do Gráfico 12, é possível observar a evolução no lucro e na capacidade produtiva da Empresa A. O Estado Futuro permite um aumento de 6,2% no lucro relativamente ao Estado Inicial, que se traduz num benefício de 2 229 024 €. Relativamente ao Estado Atual, o Estado Futuro permite um aumento de 0,8% na capacidade, que se traduz num benefício de 305 387,2 €.

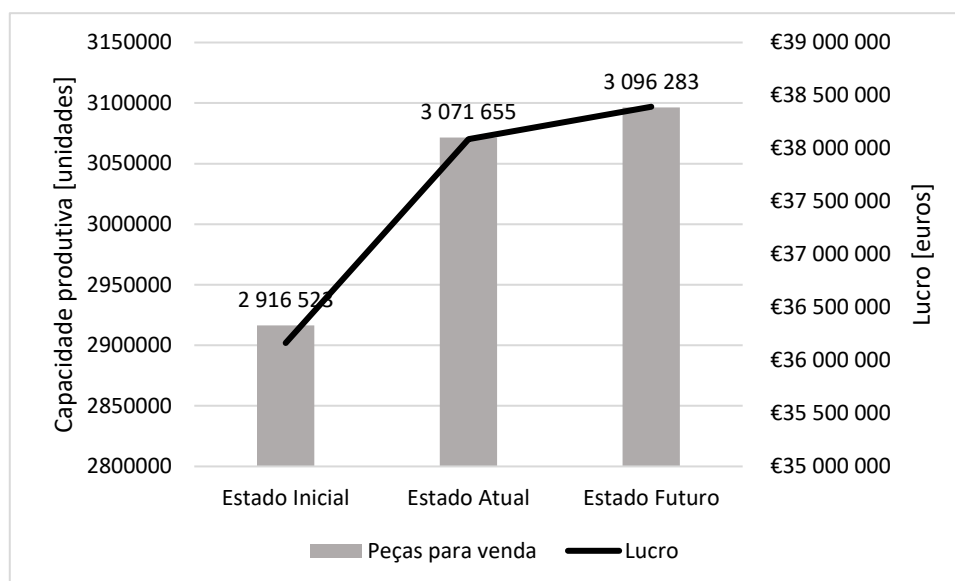


Gráfico 12 – Evolução da capacidade de produção de peças com qualidade e do respetivo lucro no Estado Inicial, Estado Atual e Estado Futuro.

5.3.1.2. Custo do *setup*

O custo do *setup* é um indicador que não está diretamente relacionado com os processos produtivos, mas sim com o processo de *setup*. Assim sendo, a análise do impacto deste indicador irá ser focada no próprio *setup* e não no processo produtivo. O custo do *setup* depende diretamente do tempo de *setup*, podendo ser dividido em três parcelas:

- Custo operacional, no qual é contabilizado o custo dos operadores em funções e dos operadores em espera;
- Custo produtivo, no qual é contabilizada a perda de capacidade em que a empresa incorre quando executa um *setup*;

- Custo de energia, no qual é contabilizado o consumo de energia durante o *setup*;

O custo operacional é independente do tempo de *setup*, dado que os operadores serão pagos o mesmo valor, independentemente das tarefas executadas. Cabe à Empresa A alocar os operadores de Fundição e Maquinagem para outros postos quando é executado o *setup*, garantindo a sua ocupação. Relativamente aos operadores de manutenção, a redução do tempo de *setup* permite a execução de mais tarefas durante o horário laboral. Uma das vantagens desta redução foi o aumento das manutenções preventivas executadas no tempo definido de 74% no Estado Inicial para 92% no Estado Atual.

Tendo em conta a estabilidade do custo operacional ao longo do Estado Inicial, Atual e Futuro, este fator não irá ser contabilizado no custo do *setup*. O custo de energia é diretamente proporcional ao tempo de *setup*, dado que o forno estará em Modo Espera (ver Consumo de Energia) tanto tempo quanto o que é necessário para a execução do *setup*. Este indicador é explorado com maior detalhe no subcapítulo dos Indicadores Ambientais. O custo produtivo está diretamente relacionado com o tempo de *setup*. Este indicador capta a perda produtiva da Empresa A quando é executado um *setup*.

Assim sendo, para o Custo do *Setup* irão ser contabilizados dois custos, o de energia, que consiste na multiplicação entre o custo imposto pela operadora energética ($0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$), a potência em espera (P_e) e o tempo em espera (t_e); e o de perda de capacidade, que consiste na multiplicação entre as unidades não produzidas e o lucro obtido por unidade:

$$\begin{aligned} \text{Custo Energético do Setup [€]} \\ = \text{Custo do kWh [€/kWh]} * \text{Potência de Espera[kW]} \\ * \text{Tempo em Espera [h]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Custo pela perda de capacidade [€]} \\ = \text{Unidades não produzidas [un]} * \text{Lucro obtido por unidade [€/un]} \end{aligned}$$

Posto isto, o custo do *setup* vai ser considerado – para o estudo em questão – como sendo o somatório do custo energético e do custo produtivo:

$$\text{Custo do Setup [€]} = \text{Custo energético [€]} + \text{Custo produtivo [€]}$$

Estado Inicial

Durante o *setup*, as linhas de Fundição e Maquinagem encontram-se em Modo de Espera – modo no qual o forno se encontra a 900°C, quando não há produção, garantindo o rápido reaquecimento até 1200°C quando necessário. Como mencionado no capítulo 5.3.2.1 Consumo de Energia, dado que o forno é o equipamento que mais contribui para os gastos energéticos e que os outros equipamentos estão constantemente ligados, o custo energético irá ser estimado através do tempo de *setup* de Fundição, que impacta diretamente o forno.

Assim sendo, considerando o custo/kW que a operadora energética impõe à Empresa A ($0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$), no Estado Inicial o custo energético do Modo de Espera é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Custo Energético do Setup Inicial [€]} &= 0,15\text{€} * Pe * te = 0,15 * 72 * 5h53 \\ &= 63,5 \text{ €} \end{aligned}$$

Relativamente ao custo produtivo, através da análise feita no subcapítulo da Capacidade Produtiva, é possível calcular prejuízo imposto à empresa por não estar a produzir durante o *setup*. Foi utilizado o gargalo da secção (Maquinagem), para que esteja refletido o pior cenário. Considerando que cada linha tem um *setup* por semana, a capacidade produtiva perdida pela realização do *setup* é dada diariamente por:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem [unidades]} &= \frac{\frac{6h11}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 225 \text{ unidades} \end{aligned}$$

Considerando as perdas por defeito decorrentes ao longo do processo, a capacidade diária perdida no processo será:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo [unidades]} \\ &= 225 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 220 \text{ unidades} \end{aligned}$$

Sabendo que o lucro ponderado de cada peça produzida pela Empresa A é de 12,4 € (considerando os custos constantes e que todas as peças com qualidade são vendidas), é estimada uma perda de 2 728 € por *setup* executado.

$$\text{Custo pela perda de capacidade [€]} = 220 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 2 728\text{€}$$

Concluindo, no Estado Inicial, o Custo do *Setup* é dado por:

$$\text{Custo do Setup Inicial [€]} = 63,5\text{€} + 2728 \text{€} = 2\,791,5 \text{€}$$

Estado Atual

Para obter o custo do *setup* no Estado Atual, o processo foi o mesmo. Começou por se calcular o custo energético do *setup* no Estado Atual para cada linha:

$$\text{Custo Energético do Setup Atual L1 [€]} = 0,15\text{€} * 72 * 1\text{h}50 = 19,8 \text{€}$$

$$\text{Custo Energético do Setup Atual L2 [€]} = 0,15\text{€} * 72 * 6\text{h}10 = 66,6 \text{€}$$

$$\text{Custo Energético do Setup Atual L3 [€]} = 0,15\text{€} * 72 * 1\text{h}20 = 14,4 \text{€}$$

$$\text{Custo Energético do Setup Atual L4 [€]} = 0,15\text{€} * 72 * 5\text{h}53 = 63,5\text{€}$$

$$\text{Custo Energético do Setup Atual L5 [€]} = 0,15\text{€} * 72 * 2\text{h}26 = 26,2 \text{€}$$

De seguida, é calculado o custo produtivo. À semelhança do Estado Inicial, começou por se calcular a capacidade diária em cada uma das linhas:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem L1 [unidades]} &= \frac{\frac{2\text{h}05}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 76 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem L2 [unidades]} &= \frac{\frac{2\text{h}20}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 85 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem L3 [unidades]} &= \frac{\frac{2\text{h}34}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 92 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem L4 [unidades]} &= \frac{\frac{6\text{h}11}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 225 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida na Maquinagem L5 [unidades]} &= \frac{\frac{2\text{h}20}{5} * 3600}{19,8} \\ &\cong 85 \text{ unidades} \end{aligned}$$

De seguida, é calculada a capacidade diária perdida no processo, consoante a linha de Fundição e Maquinagem, considerando os defeitos intrínsecos ao processo:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo com Maquinagem L1 [unidades]} \\ &= 76 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 74 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo com Maquinagem L2 [unidades]} \\ &= 85 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 83 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo com Maquinagem L3 [unidades]} \\ &= 93 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 91 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo com Maquinagem L4 [unidades]} \\ &= 225 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 220 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo com Maquinagem L5 [unidades]} \\ &= 85 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 83 \text{ unidades} \end{aligned}$$

Assim sendo, o custo pela perda de capacidade em cada uma das linhas é dado por:

$$\text{Custo pela perda de capacidade L1 [€]} = 74 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 920 \text{ €}$$

$$\text{Custo pela perda de capacidade L2 [€]} = 83 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 1 030 \text{ €}$$

$$\text{Custo pela perda de capacidade L3 [€]} = 91 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 1 133 \text{ €}$$

$$\text{Custo pela perda de capacidade L4 [€]} = 220 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 2 728 \text{ €}$$

$$\text{Custo pela perda de capacidade L5 [€]} = 83 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 1 030 \text{ €}$$

Concluindo, no Estado Atual, o Custo do *Setup*, consoante a linha de Fundição e Maquinagem na qual é executado foi calculado:

$$\text{Custo do Setup Atual L1 [€]} = 19,8 \text{ €} + 920 \text{ €} = 939,8 \text{ €}$$

$$\text{Custo do Setup Atual L2 [€]} = 66,6 \text{ €} + 1 030 \text{ €} = 1 096,6 \text{ €}$$

$$\text{Custo do Setup Atual L3 [€]} = 14,4 \text{ €} + 1 133 \text{ €} = 1147,4 \text{ €}$$

$$\text{Custo do Setup Atual L4 [€]} = 63,5 \text{ €} + 2\,728 \text{ €} = 2\,791,5 \text{ €}$$

$$\text{Custo do Setup Atual L5 [€]} = 26,2 \text{ €} + 1\,030 \text{ €} = 1\,056,2 \text{ €}$$

Através do Gráfico 13 pode observar-se a diminuição do custo de *setup* entre o Estado Inicial e o Estado Atual. Este decréscimo é notório em todas as linhas, excepto na Linha 4, que não se encontra sob estudo. O benefício da implementação da metodologia no custo de *setup* permitiu uma diminuição de, pelo menos, 59% em todas as linhas sob estudo, sendo este valor refletido em 1 500 € de benefício por *setup*.

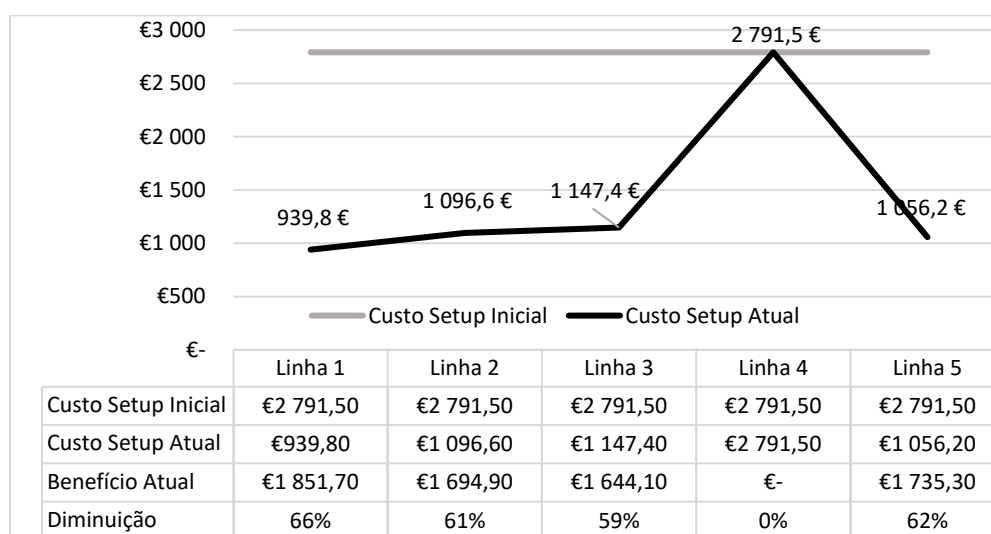


Gráfico 13 – Evolução do custo do *setup* no Estado Inicial e no Estado Atual

Estado Futuro

O Estado Futuro do indicador de Custo de *Setup* foi calculado com base no objetivo definido para o tempo de *setup* de Fundição e Maquinagem, respetivamente 1h30 e 2h15.

À semelhança dos outros estados, foi calculado o custo energético do *setup*:

$$\text{Custo Energético do Setup Futuro [€]} = 0,15 * 72 * 1\text{h}30 = 16,2 \text{ €}$$

Para calcular o custo produtivo futuro, começou por se calcular a capacidade diária perdida na Maquinagem:

$$\text{Capacidade diária perdida na Maquinagem [unidades]} = \frac{\frac{2\text{h}15}{5} * 3600}{19,8} \cong 82 \text{ unidades}$$

Considerando as perdas por defeito decorrentes ao longo do processo, é possível estimar o custo da perda de capacidade que a Empresa A incorre pela execução de um *setup* no Estado Futuro:

$$\begin{aligned} \text{Capacidade diária perdida no processo [unidades]} \\ &= 82 * (100\% - (0,21\% + 0,33\% + 1,05\% + 0,41\% + 0,11\%)) \\ &\cong 80 \text{ unidades} \end{aligned}$$

$$\text{Custo pela perda de capacidade [€]} = 80 \text{ unidades} * 12,4 \text{ €} = 993,2 \text{ €}$$

Consequentemente, no Estado Futuro, o Custo do *Setup* será:

$$\text{Custo do Setup Inicial [€]} = 16,2 \text{ €} + 993,2 \text{ €} = 1\,009,4 \text{ €}$$

Concluindo, sabendo que existe, em média, um *setup* em cada linha todas as semanas, calculou-se o benefício anual da implementação da metodologia SMED, caso se mantenha o número de *setups*. Sabendo que há 232 dias úteis, ao dividir por cinco dias úteis por semana, obtêm-se 46 *setups* por linha. O custo anual no qual a Empresa A irá incorrer em cada um dos estados é contemplado na Tabela 19.

Tabela 19 - Custo anual dos *setups* no Estado Inicial, Atual e Futuro em cada uma das linhas, respetivamente.

	Estado Inicial	Estado Atual	Estado Futuro
Custo anual L1	128 409,00 €	43 230,80 €	46 745,45 €
Custo anual L2	128 409,00 €	50 443,60 €	46 745,45 €
Custo anual L3	128 409,00 €	52 780,40 €	46 745,45 €
Custo anual L4	128 409,00 €	128 409,00 €	46 745,45 €
Custo anual L5	128 409,00 €	48 585,20 €	46 745,45 €
Custo total	642 045,00 €	323 449,00 €	233 727,26 €

Caso no futuro se pretenda manter o número de *setups*, o benefício anual será de 408 917 €. Por outro lado, caso se pretenda uma maior flexibilidade nas linhas, com o mesmo investimento que estava a ser feito no Estado Inicial é possível fazer mais 63% *setups*, que se traduz num total de 640 *setups* anualmente, no Estado Futuro.

5.3.2. Indicadores Ambientais

A nível ambiental foi selecionado um indicador, o Consumo Energético. Apesar de a nível das operações de *setup* não haver um impacto direto no consumo, a diminuição do tempo de *setup* pode causar um grande benefício energético para o meio ambiente e para a Empresa A.

5.3.2.1. Consumo de Energia

O consumo de energia é um dos fatores que mais influencia o pilar ambiental e económico da entidade sob estudo. A nível global da fábrica, a secção de Fundição e Maquinagem é responsável por 39% dos gastos energéticos, que rondam os 120 000 € mensais. Considerando apenas os processos produtivos, o consumo desta secção é de quase 50% do consumo total de energia da fábrica Gráfico 14.

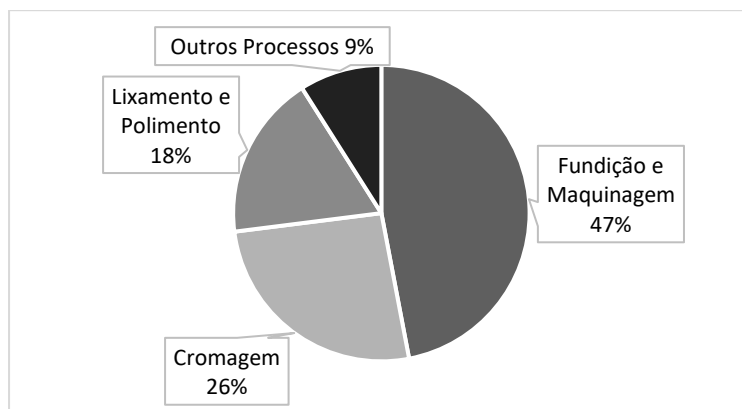


Gráfico 14 – Consumo de energia dos processos produtivos.

Dentro da secção de Fundição e Maquinagem há dois fatores que contribuem para o elevado consumo energético das linhas produtivas. São eles os fornos e os equipamentos de aspiração (Gráfico 15).

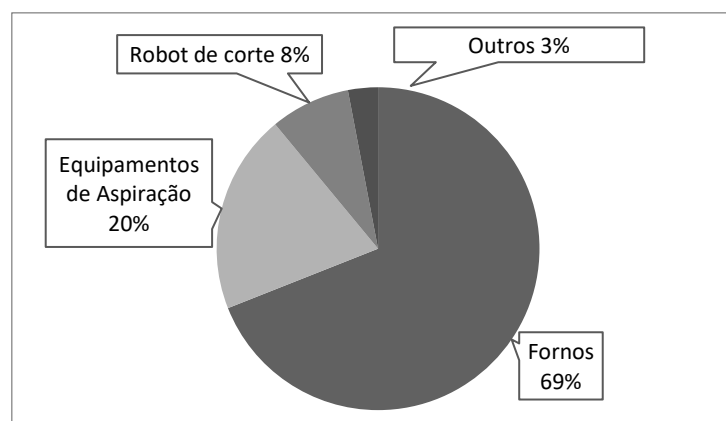


Gráfico 15 – Consumo de energia nas linhas de Fundição e Maquinagem.

Os fornos da secção de Fundição e Maquinagem estão ligados durante todo o ano – à exceção da paragem anual, realizada em agosto, na qual são desligados pelo menos dois fornos. Durante o resto do ano, cada forno tem um gasto médio mensal de aproximadamente 5 370 € nos meses em que a fábrica está a produzir. Este gasto é calculado a partir dos vários modos em que o forno se pode encontrar. São apresentados de seguida os três modos:

- Modo de Produção
 - Quando a linha está em produção este é o modo ativo. É dada energia suficiente ao forno para se manter a 1500°C, garantindo a qualidade das peças. Este modo está, habitualmente, ativo nas cinco linhas de Fundição e Maquinagem durante o horário laboral (16h durante os dias úteis), à excepção de paragens, avarias ou *setups*.
- Modo de Espera
 - Quando a linha aguarda produção, este é o modo adotado. É dada energia suficiente para o forno se manter a 900°C, garantindo que quando for necessário voltar a produzir o forno está pré-aquecido. Este modo está, habitualmente, ativo nas cinco linhas de Fundição e Maquinagem durante o horário de descanso dos operadores (8h nos dias úteis e 24h em dias não úteis) e também em qualquer pausa que haja na produção (micro paragens, avarias, *setups*, etc).

- Modo Desligado
 - Durante a paragem anual, pelo menos duas linhas são desligadas, para que seja feita a sua manutenção. Neste modo o forno é desligado e, por isso, não consome energia.

Tendo em conta que o forno representa 69% dos gastos energéticos das linhas de Fundição e Maquinagem e que os equipamentos de aspiração e o robot de corte estão sempre ligados – independentemente de a linha estar a produzir ou não – na análise ao impacto do SMED no consumo energético apenas será tido em conta o *setup* de Fundição, no qual o forno impactua.

Formulação do problema

A energia gasta pelas linhas é igual ao somatório da energia gasta no Modo de Produção (E_p), da energia gasta no Modo de Espera (E_e) e da energia gasta no Modo Desligado (E_d , que é nula):

$$E_{linha} = E_p + E_e + E_d$$

Sabe-se que:

$$P [kW] = \frac{E[kWh]}{\Delta t [h]}$$

Assim sendo, a energia de cada linha será o somatório da multiplicação entre a potência do modo ativo (P_x) e o tempo que o modo está ativo (t_x):

$$E_{linha} = P_p * t_p + P_e * t_e + P_d * t_d$$

Sabendo que a potência emitida pela linha no Modo de Produção é 1,3 vezes superior à potência emitida pela linha no Modo de Espera, vem:

$$P_p = 1,3P_e$$

$$E_{linha} = (1,3t_p + t_e) * P_e$$

Sabe-se que no ano de 2021 haverá 365 dias, assim sendo, o número de horas este ano é de $365 \text{ dias} * 24h = 8\,760 \text{ horas}$. Assim sendo, conclui-se que o somatório do tempo de produção, do tempo de espera e do tempo desligado tem de ser igual a 8 760 horas.

$$tp + te + td = 8\,760 \text{ horas}$$

Por consequência, a energia anual de cada linha é dada por:

$$E_{\text{linha}_{\text{anual}}} = (1,3tp + 8\,760 - tp) * Pe$$

$$E_{\text{linha}_{\text{anual}}} = (8\,760 + 0,3tp) * Pe$$

Estado Inicial

Tendo em conta o tempo de *setup* de Fundação de 5h53 e que, em média, cada linha perde duas horas diariamente com micro paragens e pausas, é possível calcular o tempo de produção, o tempo de espera e o tempo desligado para os dias úteis no estado inicial, em que há produção. De modo a considerar as micro-paragens, avarias e *setups* existentes, considerou-se que o tempo do modo de produção é de 14h¹¹ em vez das 16h de produção. Assim sendo, para os dias úteis, os três tempos são dados por:

$$tp_{\text{diário}} = 14h - \left(\frac{5h53}{5}\right) \cong 12h49$$

$$te_{\text{diário}} = 24h - 12h49 \cong 11h11$$

$$td_{\text{diário}} = 0h$$

Nos dias não úteis, nos quais não há produção, o tempo de produção diário e o tempo de espera diário são respetivamente:

$$tp_{\text{diário}} = 0h$$

$$te_{\text{diário}} = 24h$$

$$td_{\text{diário}} = 0h$$

¹¹ Atualmente, existe – em média – um *setup* por dia nas linhas de Fundação e Maquinagem. Considerando que os *setups* estão igualmente distribuídos pelas linhas, cada linha terá um *setup* por semana. Se for considerado um tempo de *setup* de, aproximadamente, 6h, o tempo médio de produção diário desce para 14h48. Considerando as micro-paragens e avarias que ocorrem, bem como as pausas dos funcionários, é estimado que o tempo produtivo seja de aproximadamente 14h.

Nos dias de férias (21 dias em agosto), quando é feita a manutenção anual, as linhas 1 e 2 estão desligadas. Assim sendo os tempos de produção, espera e diários das duas linhas nesses dias são respetivamente:

$$tp_{diário} = 0h$$

$$te_{diário} = 0h$$

$$td_{diário} = 24h$$

É possível calcular anualmente para as cinco linhas o seu tempo nos vários modos. Começou por se calcular para as linhas 3, 4 e 5:

$$tp_{anual} = (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) * 12h49 = 2\ 975h01$$

$$te_{anual} = ((253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) * 11h11) + (24h * (365 \text{ dias} - 232 \text{ dias})) \\ = 5\ 784h59$$

$$td_{anual} = 0h$$

De igual forma, foi calculado o tempo dos três modos para as linhas 1 e 2:

$$tp_{anual} = (253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) * 12h49 = 2\ 975h01$$

$$te_{anual} = ((253 \text{ dias} - 21 \text{ dias}) * 11h11) + (24h * (365 \text{ dias} - 232 \text{ dias} \\ - 21 \text{ dias})) = 5\ 280h59$$

$$td_{anual} = 24h * 21 \text{ dias} = 504h0$$

Sabendo que a potência do Modo de Produção é de 93,6 kW, é possível obter a potência no Modo de Espera:

$$Pe = \frac{93,6kW}{1,3} = 72,0kW$$

Assim sendo, é possível obter o consumo de energia das cinco linhas. Começou por se calcular o consumo energético anual das linhas 3, 4 e 5 individualmente:

$$E_{linha_{anual}} [kWh] = (8\ 760 + (0,3 * 2\ 975h01)) * 72kWh = 694\ 968,7kWh$$

Calculou-se, também, o consumo energético anual das linhas 1 e 2 individualmente:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{linha}_{\text{anual}}} [kWh] &= (93,6kW * 2\,975h01) + (72,0kW * 5\,280h59) + (0kW * 504h0) \\
 &= 658\,681,3kWh
 \end{aligned}$$

Assim sendo, o consumo energético anual das cinco linhas é dado por:

$$E_{\text{total}_{\text{anual}}} [kWh] = 3 * 694\,968,7kWh + 2 * 658\,681,3kWh = 3\,402\,268,8 kWh$$

A capacidade que se consegue produzir na Fundição com este dispêndio de energia é de 3 163 030 unidades.

Estado Atual

No Estado Atual, os tempos de *setup* de Fundição para cada uma das linhas são possíveis de observar na Tabela 16.

Tendo em conta que apenas houve variação no tempo de *setup*, a única alteração será nos tempos de produção e espera dos dias úteis, em que há produção. Assim sendo, para cada uma das linhas é apresentado o tempo de produção e tempo de espera diário.

$$tp \text{ Linha } 1 \text{ diário} = 14h - \left(\frac{1h50}{5}\right) \cong 13h38$$

$$tp \text{ Linha } 2 \text{ diário} = 14h - \left(\frac{6h10}{5}\right) \cong 12h46$$

$$tp \text{ Linha } 3 \text{ diário} = 14h - \left(\frac{1h20}{5}\right) \cong 13h44$$

$$tp \text{ Linha } 4 \text{ diário} = 14h - \left(\frac{5h53}{5}\right) \cong 12h49$$

$$tp \text{ Linha } 5 \text{ diário} = 14h - \left(\frac{2h26}{5}\right) \cong 13h30$$

$$te \text{ Linha } 1 \text{ diário} = 24h - 13h38 = 10h22$$

$$te \text{ Linha } 2 \text{ diário} = 24h - 12h46 = 11h14$$

$$te \text{ Linha } 3 \text{ diário} = 24h - 13h44 = 10h16$$

$$te \text{ Linha } 4 \text{ diário} = 24h - 12h49 = 11h10$$

$$te \text{ Linha } 5 \text{ diário} = 24h - 13h30 = 10h29$$

$$td \text{ Linha } i_{diário} = 0h \quad i = 1,2,3,4,5$$

À semelhança do estado atual, foi calculado o tempo de produção, tempo de espera e tempo de desligado anualmente para cada uma das linhas, bem como o seu consumo energético anual. Os resultados podem ser consultados na Tabela 20.

Tabela 20 – Tempo de produção, tempo de espera e tempo desligado nas cinco linhas de fundição e maquinagem, anualmente.

Linha	$tp \text{ Linha } i_{anual} [h]$	$te \text{ Linha } i_{anual} [h]$	$td \text{ Linha } i_{anual} [h]$	$E_{linha}_{anual} [kWh]$
Linha 1	3 162h56	5 093h04	504h	662 740,3
Linha 2	2 961h52	5 294h08	504h	658 397,4
Linha 3	3 186h08	5 573h52	0h	699 528,8
Linha 4	2 975h01	5 784h59	0h	694 968,7
Linha 5	3 135h06	5 624h54	0h	698 426,4

Assim sendo, é possível calcular o consumo total das cinco linhas anualmente:

$$E_{total}_{anual} [kWh] = 662 740,3 + 658 397,4 + 699 528,8 + 694 968,7 + 698 426,4 = 3414061,6 \text{ kWh}$$

Tendo em conta o custo energético de 0,15 € por cada kWh, é possível observar através do Gráfico 16 que, apesar do aumento do custo de energia do Estado Inicial para o Estado Atual em 1 525 € anuais, enquanto este custo teve um aumento de 0,35%, a capacidade aumentou 3,9%, dando um aumento de receita de 1,25 M€ anuais.

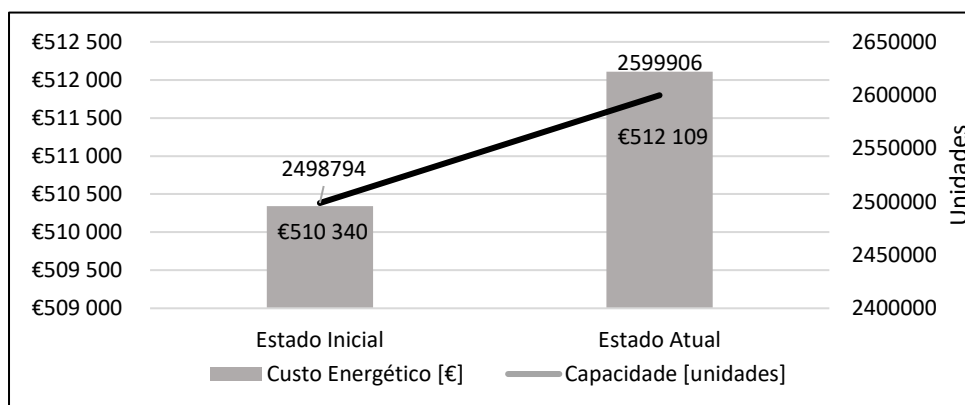


Gráfico 16 – Evolução do custo energético e da capacidade entre o Estado Inicial e o Estado Atual.

Estado Futuro

No Estado Futuro, o tempo de *setup* de Fundição será de 1h30 em cada uma das linhas. Assim sendo, à semelhança do Estado Atual, haverá impacto direto no consumo energético.

Começou por se calcular o tempo produção, tempo de espera e tempo desligado nos dias em que há produção.

$$tp_{diário} = 14h - \left(\frac{1h30}{5}\right) \cong 13h42$$

$$te_{diário} = 24h - 13h42 \cong 10h18$$

$$td_{diário} = 0h$$

À semelhança do Estado Inicial, foi calculado o tempo de produção, tempo de espera e tempo desligado anual. Os resultados estão descritos na Tabela 21.

Tabela 21- Tempo de produção, tempo de espera e tempo desligado nas cinco linhas de fundição e maquinaria, anualmente.

Linha	tp Linha i anual [h]	te Linha i anual [h]	td Linha i anual [h]	E linha anual [kWh]
Linha 1	3178h24	5077h36	504h	663074,4
Linha 2	3178h24	5077h36	504h	663074,4
Linha 3	3178h24	5581h36	0h	699361,8
Linha 4	3178h24	5581h36	0h	699361,8
Linha 5	3178h24	5581h36	0h	699361,8

Assim sendo, é possível calcular o consumo total das cinco linhas anualmente:

$$E_{total\,anual} [kWh] = (2 * 663074,4) + (3 * 699361,8) = 3\,424\,234 \text{ kWh}$$

Através do Gráfico 17 é possível concluir que ao atingir o Estado Futuro do tempo de *setup* de Fundição, a Empresa A irá incorrer num aumento de 0,3% no custo anual

energético relativamente ao Estado Atual, que se traduz em 1 525 €. Com este incremento no consumo energético, a Empresa A irá ganhar 2,6% de capacidade, que, se irá traduzir num benefício de 863 mil euros anuais.

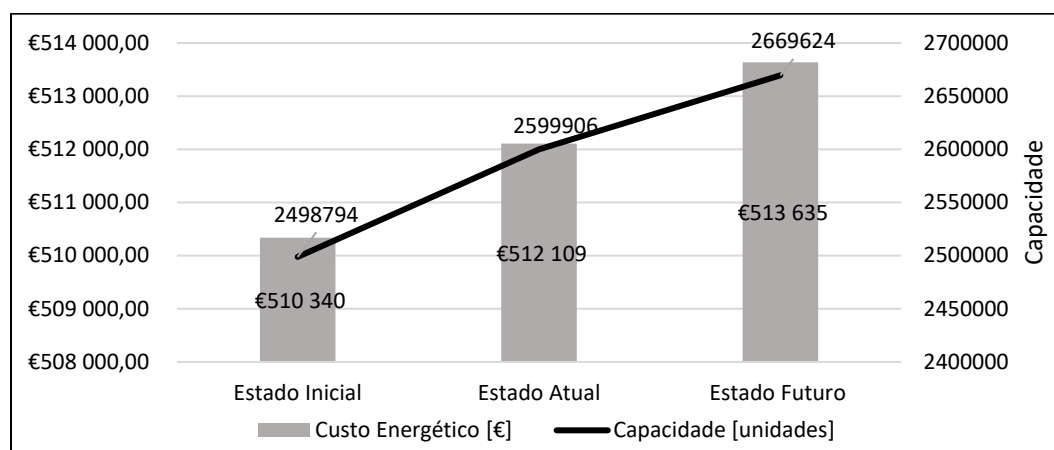


Gráfico 17 – Evolução do custo energético e da capacidade entre o Estado Inicial e o Estado Futuro com a Opção A.

Apesar de o aumento de capacidade influenciar negativamente o consumo energético, há também uma possibilidade de alteração que terá um impacto positivo no consumo energético. Para distinguir as duas opções viáveis, daqui em diante a opção que implica o aumento de capacidade e o conseqüente aumento no consumo energético, irá ser denominada de Opção A e a opção que implica manter a capacidade e desligar um forno será denominada de Opção B.

Aquando do estudo energético, foi posta a possibilidade de desligar uma linha, caso se deseje manter a capacidade. A linha proposta a desligar foi a Linha 1. Mantendo a capacidade inalterada desde o Estado Inicial, foi calculado o tempo que seria ganho no Estado Atual ao desligar a Linha 1.

$$\begin{aligned} \text{Tempo ganho (h)} &= (\text{Capacidade Atual} - \text{Capacidade Inicial}) * \left(\frac{\text{tempo de ciclo}}{3600} \right) \\ &= (2599906 - 2498794) * \left(\frac{16,9}{3600} \right) = 474h42 \end{aligned}$$

As 600h54 obtidas irão traduzir-se em 29,7 turnos de 16 horas.

Consequentemente foi calculado o tempo que seria ganho para desligar a Linha 1 no Estado Futuro.

$$\begin{aligned} \text{Tempo ganho (h)} &= (\text{Capacidade Futura} - \text{Capacidade Inicial}) * \left(\frac{\text{tempo de ciclo}}{3600}\right) \\ &= (2669624 - 2498794) * \left(\frac{16,9}{3600}\right) = 802h0 \end{aligned}$$

As 1 014h48 obtidas irão traduzir-se em 50,1 turnos de 16 horas.

Na Tabela 22 estão contempladas as estimativas do consumo energético, do respetivo custo e da capacidade produtiva para a Opção A e para a Opção B.

Tabela 22 – Consumo Energético, Custo energético e capacidade nos diferentes estados.

Estado		Consumo Energético [kWh]	Custo Energético anual [€]	Capacidade [unidades]	Vendas – Custo energético [€]	Aumento no Lucro [%]
Estado Inicial		3402268,8	510 340,3	2498794	30 474 705,3	3,95%
Opção A	Estado Atual (com aumento de capacidade)	3414061,6	512 109,2	2599906	31 726 725,2	3,95%
	Estado Futuro (com aumento de capacidade)	3424234,2	513 635,1	2669624	32 589 702,5	6,49%
Opção B	Estado Atual (mantendo a capacidade inicial)	3338104,0	500 715,6	2498794	30 484 330,0	0,03%
	Estado Futuro (mantendo a capacidade inicial)	3282218,2	492 332,7	2498794	30 492 712,9	0,06%

Caso se mantenha a capacidade, é visível através do Gráfico 18 que o custo energético é reduzido em aproximadamente 10 k€ do Estado Inicial para o Estado Atual e em 18k€ do Estado Inicial para o Estado Futuro. A diminuição do tempo de *setup*, permite que – caso a Empresa A esteja disposta a desligar uma linha – o consumo energético diminua 3,7% no Estado Futuro.

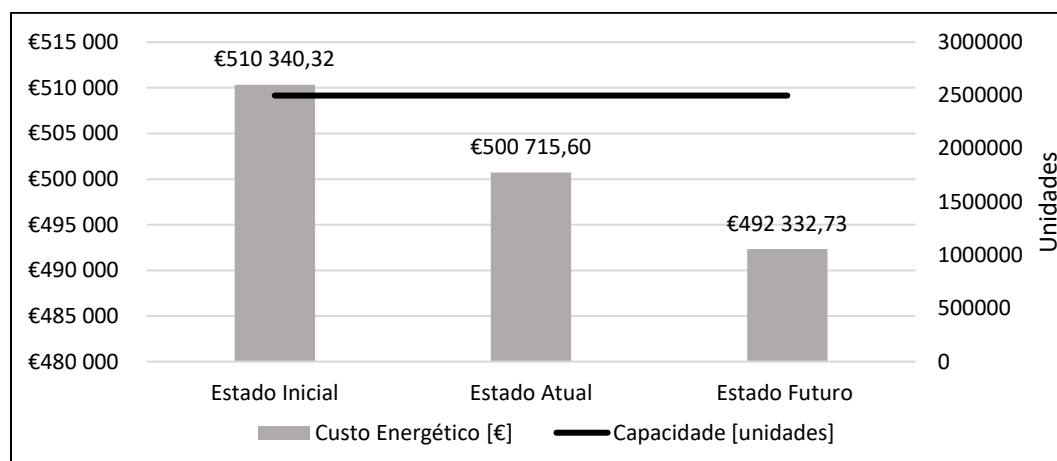


Gráfico 18 – Evolução do custo energético e da capacidade entre o Estado Inicial e o Estado Futuro com a Opção B.

Concluindo, relativamente ao indicador em causa no presente subcapítulo, as duas opções são pertinentes, dependendo do objetivo da Empresa A. Na Tabela 23 encontra-se resumida a quantificação de vários fatores que podem afetar a escolha de cada uma das opções. A quantificação foi feita comparando o Estado Inicial e o Estado Futuro. Na Opção A, apesar de haver um aumento substancial no lucro, haverá um aumento do consumo energético, o que prejudica a vertente ambiental da Empresa A. Na opção B, apesar de haver um impacto positivo para o ambiente, dada a redução de consumo energético, o desligar de um forno incorre num grande risco de avaria ficando o equipamento inutilizável.

Tabela 23 – Resumo do impacto da Opção A e Opção B

Opção	Varição no Consumo Energético (%)	Varição no Custo Energético anual [€]	Aumento de Capacidade (%)	Aumento no Lucro anual [€]	Risco associado à perda de um forno?
Opção A	0,6%	3 294,8	6,4%	2 115 002,03	Não
Opção B	-3,7%	-18 007,6	0%	13 539,9	Sim

5.3.3. Indicadores Sociais

A nível de indicadores Sociais, a quantificação do impacto da metodologia SMED na Empresa A é complexa, dado que os processos, as respetivas tarefas e operadores divergem. Assim sendo, a análise social foi focada ao nível do *setup*.

5.3.3.1. Movimentação durante o *setup*

Um dos sete desperdícios associados ao *lean* é o transporte, que está diretamente relacionado com a movimentação desnecessária, quer de operadores, quer de material. Foi feito um levantamento às movimentações efetuadas pelos operadores durante o *setup* e percebeu-se que a maioria era desperdício. Assim sendo, foi quantificado o impacto desta métrica no Estado Inicial, no Estado Atual e no Estado Futuro.

Estado Inicial

Para analisar a distância percorrida por cada operador durante o *setup*, foi desenhado o diagrama de esparguete (Figura 20) com base nas deslocações efetuadas por cada operador durante o *setup* gravado.

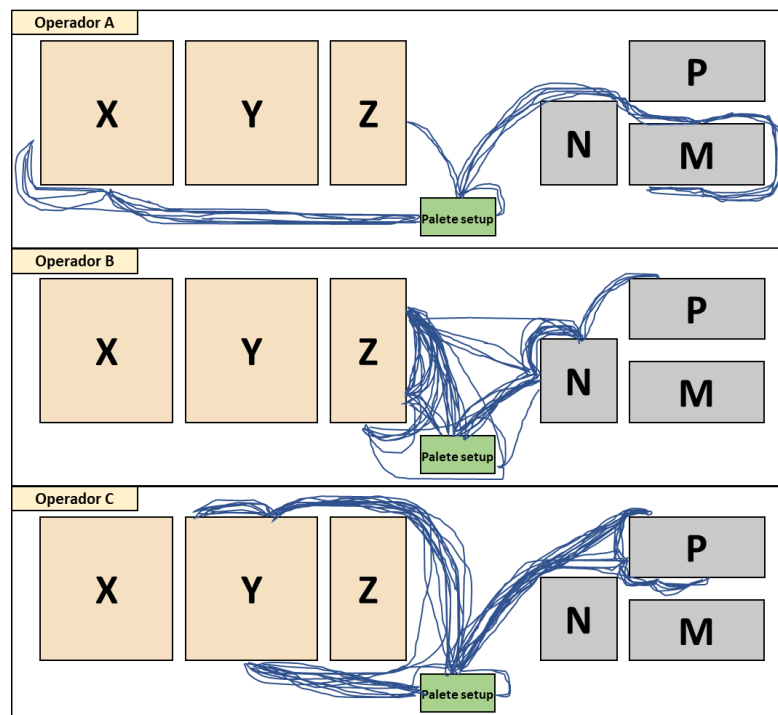


Figura 20 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Inicial.

Para além disso, foi medida a distância percorrida pelos operadores no *setup* gravado e foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 24. Considerando que os operadores caminham a uma velocidade média de 5km/h, foi possível estimar o tempo por eles desperdiçado (Tabela 24).

Tabela 24 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Inicial.

Operador	Distância percorrida [m]	Tempo de movimentação [min]
Operador A	783	9,4
Operador B	964	11,6
Operador C	1690	20,3
Operador D	N/A	N/A
Total	3437	41,4

Da análise às distâncias percorridas e através da discussão com operadores, foi perceptível que os maiores desvios – que representam 87% do tempo de movimentação - são executados devido a três causas maioritárias:

- Deslocação entre máquinas para ajudar colegas ou devido a tarefas esquecidas;
- Esquecimento de algum elemento necessário para a troca, obrigando à deslocação para o ir buscar;
- Deslocação desde a palete até à máquina e vice-versa.

A primeira causa foi aliviada através da criação do Modo Operatório e da normalização do processo de afinação, implementada no Estado Atual. A segunda causa foi eliminada devido à criação e uso da *checklist* de preparação do *setup*, igualmente implementada no Estado Atual. A última causa estará resolvida no Estado Futuro através da criação de carros de *setup* individuais, que operadores transportam consigo desde o início do *setup* e que contêm todos os materiais necessários para a troca de ferramentas.

Estado Atual

No Estado Atual, a melhoria implementada foi a criação e formação dos operadores no Modo Operatório, formação dos operadores nas normas de afinação e o preenchimento da *checklist* de preparação do *setup*, garantindo que não faltará nada aos operadores durante a sua execução. Assim sendo, o último *setup* da linha 5 foi observado e as respetivas

movimentações foram contabilizadas. A representação das movimentações no Estado Atual encontra-se na Figura 21.

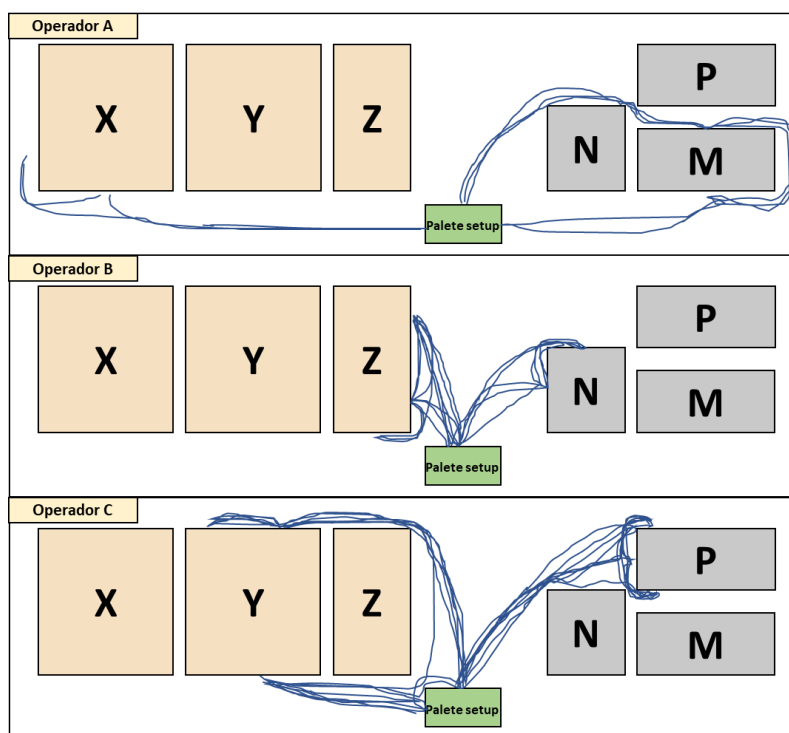


Figura 21 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Atual.

Obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 25. Observa-se, relativamente ao Estado Inicial, uma redução total de tempo de movimentação de 44%.

Tabela 25 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Atual.

Operador	Distância percorrida [m]	Tempo de movimentação (min)	Redução relativamente ao Estado Inicial (%)
Operador A	440	5,3	44%
Operador B	630	7,6	35%
Operador C	870	10,4	49%
Operador D	N/A	N/A	N/A
Total	1940	23,3	44%

Estado Futuro

No Estado Futuro, é expectável que todo o tempo despendido em deslocações desnecessárias seja eliminado, dado que os operadores estarão munidos de um carro de *setup* que transportará todos os itens necessários ao *setup*. Assim sendo, foi estimada a distância que os operadores necessitam de percorrer entre as máquinas nas quais irão operar. O resultado e a respetiva redução no tempo de deslocação encontram-se na Tabela 26.

Tabela 26 – Distância percorrida e tempo despendido na movimentação no Estado Futuro.

Operador	Distância percorrida [m]	Tempo de movimentação (min)	Redução relativamente ao Estado Inicial (%)
Operador A	90	1,1	89%
Operador B	130	1,6	87%
Operador C	170	2,0	90%
Operador D	N/A	N/A	N/A
Total	390	4,7	89%

O diagrama de esparguete que se estima para o Estado Futuro encontra-se na Figura 22. É possível observar através da figura que as deslocações serão reduzidas drasticamente desde o Estado Inicial até ao Estado Futuro.

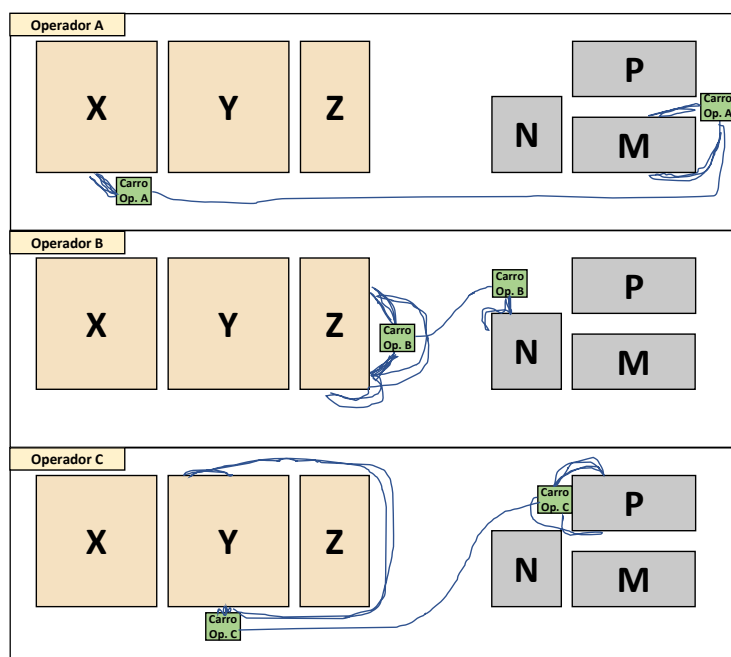


Figura 22 – Diagrama de esparguete do Operador A, do Operador B e do Operador C no Estado Futuro.

Assim sendo, tendo em conta a diminuição radical no tempo despendido em deslocações, conclui-se que a normalização dos processos e o investimento em carros individuais irá trazer benefícios produtivos que podem levar à diminuição de mais de 20 minutos no tempo de *setup*.

5.3.3.2. Energia de transporte de cargas

Dois dos fatores que mais preocupam a secção de Recursos Humanos da Empresa A é a segurança e a ergonomia dos processos que os operadores executam. Um dos fatores ao qual pediram atenção, aquando da implementação de SMED, foi a criação de um sistema de apoio aos operadores, que evitasse o transporte de cargas pesadas.

Estado Atual

Como observado no indicador de desperdício de movimentação, os operadores têm de se deslocar desde a máquina até à paleta de *setup* e vice-versa. Dado que estas deslocações têm como objetivo o transporte de elementos da paleta para as máquinas, os operadores acabam por transportar cargas bastante pesadas. Foi descrito na Tabela 27 o peso suportado pelos operadores, bem como a distância média percorrida com as cargas – estimada através da gravação do – que culminou no cálculo do esforço de transporte, cuja equação é definida através de:

$$\begin{aligned} \text{Trabalho [J]} &= \text{Força [N]} * \text{Distância percorrida com a carga [m]} \\ &= \text{Peso [kg]} * g * \text{Distância percorrida com a carga [m]} \end{aligned}$$

Tabela 27 – Peso médio das cargas, distância percorrida com a carga e trabalho por operador no Estado Inicial.

Operador	Peso médio das Cargas [kg]	Distância percorrida com a carga [m]	Trabalho (J)
Operador A	22 kg	313	68904
Operador B	14 kg	386	53984
Operador C	33 kg	676	223080
Operador D	N/A	N/A	N/A

Assim sendo, é possível observar que o esforço exercido por cada operador ao longo do *setup* é, em média, 115323 J.

Estado Futuro

Tendo em conta que no Estado Atual não foi implementada nenhuma melhoria que aliviasse o esforço dos operadores, será apenas analisado o Estado Futuro. Uma das melhorias que estará implementada no Estado Futuro será a existência de carros de *setup* individuais para cada operador. Estes carros irão acompanhar os operadores ao longo do *setup*, diminuindo o transporte desnecessário que existia no Estado Inicial e no Estado Atual da paleta de *setup* para as máquinas.

Assim sendo, está descrito na Tabela 28 o peso – que se mantém – a nova distância que os operadores terão de percorrer e o trabalho que irão despende.

Tabela 28 – Peso médio das cargas, distância percorrida com a carga e trabalho por operador no Estado Futuro.

Operador	Peso médio das Cargas [kg]	Distância percorrida com a carga [m]	Trabalho (J)
Operador A	22	40	880
Operador B	14	100	1400
Operador C	33	130	4290
Operador D	N/A	N/A	N/A

É possível observar, através do Gráfico 19, a diminuição do esforço por parte dos operadores. A implementação de carros individuais de *setup* permitiu uma diminuição do trabalho executado pelos operadores em pelo menos 81%, melhorando as suas condições de trabalho.

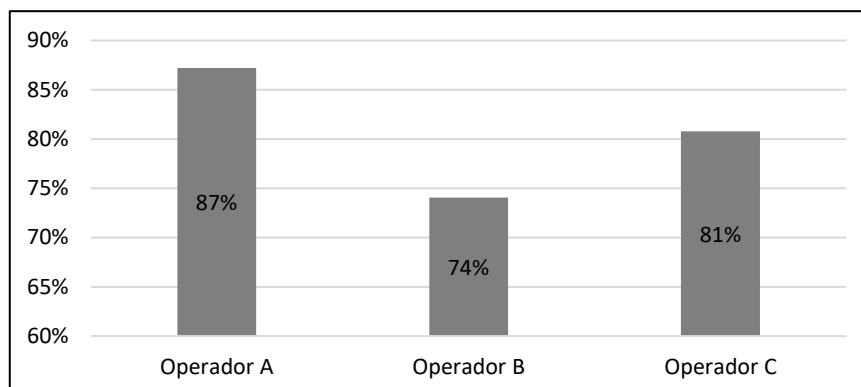


Gráfico 19 – Redução percentual no trabalho [J] executado pelos operadores entre o Estado Inicial e o Estado Futuro.

5.4. Conclusões

A necessidade de analisar o impacto da metodologia SMED no restante processo da Empresa A, obrigou a uma avaliação de indicadores de sustentabilidade, nas vertentes económica, ambiental e social. Foi utilizada como base a metodologia 3SM, que permitiu o mapeamento a três níveis – processo, *setup* e actividades do *setup* -, a escolha dos indicadores e a sua análise em três estados – Estado Inicial, Estado Atual e Estado Futuro.

O mapeamento foi realizado a três níveis. Começou por se mapear o processo como um todo, no qual estão incluídos os cinco processos que acrescentam valor à Empresa A. De seguida, foram mapeadas as actividades do *setup*, que representam as seis máquinas nas quais é executado o *setup* das linhas de Fundição e Maquinagem. Por fim, foi mapeado o terceiro nível, no qual foram detalhadas as tarefas a executar no *setup* de cada máquina.

Posteriormente ao mapeamento, foram seleccionados os indicadores de cada uma das vertentes. Para o pilar económico, foram seleccionados o indicador de capacidade produtiva e o custo do *setup*. No pilar ambiental, foi seleccionado o consumo de energia. No pilar social, foi seleccionado o indicador de movimentação no *setup* e o indicador de trabalho de transporte de cargas.

Da análise aos indicadores seleccionados, entre o Estado Inicial e o Estado Atual foi estimado um aumento de capacidade de 155 mil unidades anualmente, que se traduz num

benefício de 350 mil euros anuais; uma diminuição no custo de cada *setup* de pelo menos 59% nas linhas em que a metodologia foi implementada, que se traduz num benefício superior a 1 500 € por *setup*; uma diminuição de 1,9% no consumo energético, que se reflete numa diminuição dos custos energéticos anuais de 9 600 €; e uma diminuição de 44% no tempo dispendido em movimentações realizadas durante o *setup*, que se traduz numa redução de 18 minutos no tempo de *setup*.

Relativamente ao Estado Futuro, conclui-se que, comparativamente com o Estado Inicial, haverá um aumento de capacidade de 180 mil unidades anualmente, que se traduz num benefício de 2.2 M€ anuais; a possibilidade de aumento do número de *setups* até 63% – permitindo maior flexibilidade – sem novos investimentos ou, mantendo o número de *setups* uma poupança superior a 400 mil euros anualmente; a diminuição de 3,7% no consumo energético, que se reflete numa diminuição dos custos energéticos anuais de 18 mil euros; uma diminuição de 89% nas movimentações realizadas durante o *setup*, que se traduz numa redução de 37 minutos no tempo de *setup*; e uma diminuição de pelo menos 81% na energia despendida pelos operadores no transporte de cargas pesadas.

Concluindo, através da quantificação do impacto da metodologia SMED é possível confirmar o seu impacto colateral, que realça o benefício significativo nas vertentes analisadas. Apesar disso, é importante manter espírito crítico quando é implementada uma melhoria no processo, garantindo que influenciará positivamente o processo como um todo.

6. CONCLUSÃO GERAL

Através da implementação da metodologia SMED na secção de Fundição e Maquinagem pôde concluir-se que:

- O recurso à ferramenta 3SM para o mapeamento do Estado Atual do *setup*, através da qual são mapeadas as tarefas das atividades do *setup*, permite que os operadores envolvidos na melhoria do processo compreendam os detalhes das tarefas executadas durante o *setup*, permite a fácil separação das tarefas externas e internas ao *setup* e reorganização/relocação das tarefas necessárias;
- A normalização dos processos (criação de um modo operatório, checklist de preparação e definição das etapas de afinação) tem um forte impacto na redução do tempo de *setup*. Apesar disso, é necessário dar liberdade aos operadores para contornarem as situações adversas que surjam durante os *setups*;
- A divisão de tarefas no *setup* deve ser realizada de forma equilibrada, de modo a garantir que os operadores que executam o *setup* irão terminá-lo em tempos semelhantes;
- Ao executar as quatro etapas do SMED, foi obtida uma diminuição superior a 50% em todas as linhas nas quais a metodologia foi aplicada (excepto no tempo de *setup* de Fundição, que sofreu um aumento devido às más condições do equipamento);
- No espaço de seis meses, a implementação da metodologia SMED, por si só, não permitiu que o objetivo fosse atingido. Dado que se trata de um *setup* em máquinas com vários anos de operações contínuas e constantes mudanças de modelo, os equipamentos estão fragilizados, tornando a sua afinação complexa e morosa. Para além disso, também foi possível concluir que a formação dos operadores na linguagem de programação dos robots de afinação será um elemento chave para a diminuição do tempo de *setup*;
- A metodologia SMED impactua, não só, o tempo de *setup*, mas também as vertentes económica, ambiental e social da Empresa A. Este impacto foi quantificado e são tecidas conclusões acerca dos resultados de seguida.

Através da quantificação do impacto colateral da implementação da metodologia SMED na secção de Fundição e Maquinagem pôde concluir-se que:

- A aplicação da metodologia 3SM ao caso sob estudo não contemplou a análise aos vários processos devido à independência entre eles considerada;
- A seleção dos indicadores de sustentabilidade adequados, que permitam visualizar o impacto nas três vertentes económica, social e ambiental, é de extrema importância para a definição da estratégia a adotar assim que a melhoria estiver implementada (exemplo do aumento de capacidade vs desligar um forno, ou seja, investimento vs poupança);
- O aumento de capacidade em 5,8% permite – se for considerado que os custos se mantêm constantes e que todas as peças com qualidade produzidas são vendidas - um aumento no lucro de 2.2 M€ anualmente;
- A diminuição do tempo de *setup* permitiu que o custo anual de execução de *setups* diminuisse mais de 400 mil euros;
- Caso se pretenda uma maior flexibilidade no processo, é possível aumentar o número de *setups* de 46 para 128 *setups* por ano em cada linha, sem investir dinheiro na operacionalização da execução do *setup*;
- O impacto no consumo de energia permitiu a criação de dois cenários:
 - Opção A, na qual o consumo energético aumenta 0,6% (que equivale a 3 mil euros anuais) e permite um aumento na capacidade de 170 mil unidades, que se traduz num benefício comparativamente ao Estado Inicial de 2 M€ anuais;
 - Opção B, na qual o consumo energético diminui 3,7% (que equivale a 18 mil euros anuais), mantendo a capacidade constante desde o Estado Inicial. O benefício desta opção comparativamente ao Estado Inicial é de 13 mil euros. Apesar da vantagem de redução de consumo, esta opção implica que seja desligado um forno, o que representa a possibilidade de perda do equipamento por avaria.
- A normalização das operações de *setup* e adjacentes, permite uma redução do tempo de deslocações de 44%, que representa 18 minutos;

- A criação de uma paleta de *setup* pessoal, permite a diminuição em 80% do tempo de deslocação durante o *setup* e a diminuição – em média – de 80,7% da energia despendida pelos operadores para carregar cargas pesadas;

Apesar do foco no benefício monetário, é relevante realçar que através da implementação da metodologia SMED, a Empresa A ficou alinhada com os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, contribuindo para a eficiência energética, para o crescimento económico, para o trabalho digno e para o menor impacto ambiental de Portugal.

Por fim, como sugestão de trabalho futuro, é recomendado que haja um maior foco nos indicadores ambientais e sociais. É aconselhável que sejam selecionados indicadores com os quais seja possível fazer benchmarking, garantindo que a empresa e os processos se encontram dentro de valores aceitáveis. Quer no pilar ambiental, quer no pilar social, é aconselhada a quantificação de indicadores mais precisos, como o desperdício material, consumo de água, número de admissões e demissões e/ou satisfação dos colaboradores (através de um formulário). Para além disso, é aconselhável que a Empresa A replique a metodologia SMED para outras secções com linhas produtivas, como é o exemplo da Montagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashif, M., Goyal, S., & Shastri, A. (2015). Implementation of Lean Tools-*Value Stream Mapping* & SMED for Lead Time Reduction in Industrial Valve Manufacturing Company. *Applied Mechanics and Materials*, 813–814, 1170–1175.
- Azizi, A., & Manoharan, T. a/p. (2015). Designing a Future *Value Stream Mapping* to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 153–158.
- Cakmakci, M. (2009). Process improvement: Performance analysis of the *setup* time reduction-SMED in the automobile industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(1–2), 168–179.
- Dou, R., Huang, R., Nan, G., & Liu, J. (2020). Less diversity but higher satisfaction: An intelligent product configuration method for type-decreased mass customization. *Computers and Industrial Engineering*, 142(February), 106336.
- Dües, C. M., Tan, K. H., & Lim, M. (2013). Green as the new Lean: How to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 40, 93–100.
- Ebrahimi, A., Khakpour, R., & Saghiri, S. (2021). *Sustainable Setup Stream Mapping* (3SM): a systematic approach to lean sustainable manufacturing. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–24.
- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (2014). Sustainable *Value Stream Mapping* (Sus-VSM): Methodology to visualize and assess manufacturing sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 85, 8–18.
- Ferradás, P. G., & Salonitis, K. (2013). Improving changeover time: A tailored SMED approach for welding cells. *Procedia CIRP*, 7, 598–603.
- Gest, G., Culley, S. J., McIntosh, R. I., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (1995). Review of fast tool change systems. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 8(3), 205–210.
- Helleno, A. L., de Moraes, A. J. I., Simon, A. T., & Helleno, A. L. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes:

- Application case studies in Brazilian industry. *Journal of Cleaner Production*, 153, 405–416.
- Krajnc, D., & Glavič, P. (2005). How to compare companies on relevant dimensions of sustainability. *Ecological Economics*, 55(4), 551–563.
- Lasa, I. S., Laburu, C. O., & De Castro Vila, R. (2008). An evaluation of the *Value Stream Mapping* tool. *Business Process Management Journal*, 14(1), 39–52.
- Lv, M., Zhang, N., Jiang, J., & Wang, Q. (2015). *Analysis and Application of SMED in an Injection Molding Machine Based on VSM*. 143–149.
- McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2000). A critical evaluation of Shingo's 'SMED' (*Single Minute Exchange of Die*) methodology. *International Journal of Production Research*, 38(11), 2377–2395.
- Mike Rother, J. S. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*.
- Reik, M. P., McIntosh, R. I., Culley, S. J., Mileham, A. R., & Owen, G. W. (2006). A formal design for changeover methodology. Part 1: Theory and background. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(8), 1225–1235.
- Robert Damelio. (2011). *The Basics of Process Mapping*.
- Shingo, S. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*.
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H. Y. (2017). A cross-sector review on the use of *Value Stream Mapping*. *International Journal of Production Research*, 55(13), 3906–3928.
- Wang, C. hua, Kao, J. H., & Thakur, S. K. (2012). Implementation of the lean model for carrying out *Value Stream Mapping* and SMED in the aerospace engine case production. *Advanced Materials Research*, 542–543, 302–310.

ANEXO A

Indicadores Económicos

Tabela 29 – Indicadores Económicos adaptados de (Helleno et al., 2017).

Area	Indicador e Equação	Legenda	Revisão Literatura
Custos de Gestão	Custo Operacional (€) $CuO = TC * (CTDI + CGDI + DIE)$	TC=Tempo de Ciclo CTDI=Custos de Trabalho Diretos e Indiretos CGDI=Custos de Gestão Diretos e Indiretos DIE=Depreciação das Instalações e Equipamentos	Hallgren and Olhager (2009); Aguado et al. (2013); Lee et al. (201
Eficiência Operacional	Custo de Eficiência (€) $CuE = \frac{CuO}{OEE}$	CuO=Custo Operacional OEE=Overall Equipment Efficiency	Hajmohammad et al. (2012); Pettersen (2009); Lee et al. (2014); Hallgren and Olhager (2009); Jabbour et al. (2012); Sampaio et al. (2010)
Eficiência Operacional	Custo de Armazenamento (€) $CuA = \begin{cases} S * \sum_{j=n-1}^n CuE_j \text{ for } n > 1 \\ S * \sum_{j=0}^n CMP \text{ for } n > 1 \end{cases}$	S=Quantidade de stock antes das operações; N=número de operações; CMP=Custo de Matéria Prima	Hajmohammad et al. (2012); Pettersen (2009); Lee et al. (2014); Hallgren and Olhager (2009); Jabbour et al. (2012); Sampaio et al. (2010)
Resultados Operacionais	Custo de Processo objetivo (€) $Custo\ Takt = \frac{\sum CuO}{OEE_{ref}}$	CuO=Custo de Operação WCM OEE (85%)	Aguado et al. (2013); Sampaio et al. (2011)
	Eficiência Custo de Ciclo (%) $ECC = \frac{\sum CuE}{\sum CuA}$	CuE=Custos de Eficiência CuA=Custos de Armazenamento	-
	Nível de Sustentabilidade Económica (%) $NSE = \frac{Custo\ Takt}{CuE}$	Custo Takt=Objetivo Custo Processo; CuE=Custo de Eficiência	-

Indicadores Sociais

Tabela 30 – Indicadores Sociais adaptado de (Helleno et al., 2017).

Area	Indicador e Equação	Legenda	Revisão Literatura
Custos de Gestão	Absentismo (%) $Abs = \frac{NHA}{NHT}$	NHA=Numero de Horas Ausente; NHT=Nº de horas trabalhadas	Hallgren and Olhager (2009); Aguado et al. (2013); Lee et al. (201
Eficiência Operacional	Turnover (%) $TOv = \frac{(NLa + NAd)/2}{NE}$	NLa=Numero de Layoffs; Nad=Numero de admissões; NE=Número de empregados	Hajmohammad et al. (2012); Pettersen (2009); Lee et al. (2014); Hallgren and Olhager (2009); Jabbour et al. (2012); Sampaio et al. (2010)
Eficiência Operacional	Taxa de Acidentes (acidentes) $TA = \frac{NA}{NE}$	NA=Numero de Acidentes; NE=Numero de empregados	Hajmohammad et al. (2012); Pettersen (2009); Lee et al. (2014); Hallgren and Olhager (2009); Jabbour et al. (2012); Sampaio et al. (2010)
Resultados Operacionais	Nível de Ruído (dB)	O nível de ruído relativo é determinado em relação à referência de 80db (OSHA, 2008)	Aguado et al. (2013); Sampaio et al. (2011)
Comunidade	Taxa de produção Nacional $TPN = \frac{PFP}{PT}$	PFP= Produção Feita em Portugal; PT=Produção total	-
Económico	Nível Salarial (NSal)	O nível salarial relativo é determinado em relação ao nível salarial de referência.	Roca and Seary. (2011); Jabbour et al. (2012); Lee et al. (2014)
Recursos Humanos	Benefício/Comissão/Lucro $BCP = \frac{\sum Ben + Com + Luc}{NSal}$	Ben-Benefícios dos empregados; Com-Comissão dos empregados; Luc-Lucro dos empregados; NSal-Nível salarial	Daily et al. (2011); Roca and Seary. (2011); Jabbour et al. (2012)

Area	Indicador e Equação	Legenda	Revisão Literatura
	Nível de Sustentabilidade Social – Operação $NSSo = \frac{\sum \text{Indicador Social Relativo}}{7}$		
	Nível de Sustentabilidade Social – Processo $NSSp = \frac{\sum NSSo}{NOp}$	NSS- Nível de sustentabilidade social; Nop- Número de Operadores	

Indicadores Ambientais

Tabela 31 – Indicadores Ambientais adaptado de (Helleno et al., 2017).

Area	Indicador e Equação	Legenda	Revisão Literatura
Consumo	Consumo de energia elétrica (CEE) [W/unidade]	O CEE relativo é determinado em relação ao à referência definida pelo plano do processo.	Aguado et al. (2013); Pampanelli et al. (2014); Haden et al. (2009); Hajmohammad et al. (2012); Lee et al. (2014); Brown et al. (2014)
Consumo	Consumo de Água (CA) [L/unidade]	O CA relativo é determinado em relação ao à referência definida pelo plano do processo.	Aguado et al. (2013); Pampanelli et al. (2014); Haden et al. (2009); Hajmohammad et al. (2012); Lee et al. (2014); Brown et al. (2014)
Responsabilidade	Libertação de gases nocivos (LGN) [m3/unidade]	O LGN relativo é determinado em relação ao à referência definida pelo plano do processo.	Jabbour et al. (2012); Hajmohammad et al. (2012)
Responsabilidade	Segregação do Desperdício (SD) [%] $SD = \frac{QDS}{QDG}$	QDS-Quantidade de desperdício segregado; QDG-Quantidade de desperdício gerado	Jabbour et al. (2012); Hajmohammad et al. (2012)
Responsabilidade	Desperdício com Tratamento Rastreável (DTR) [%] $DTR = \frac{QDS}{QDG}$	QDTR-Quantidade de desperdício com tratamento rastreável	Jabbour et al. (2012); Hajmohammad et al. (2012)

Area	Indicador e Equação	Legenda	Revisão Literatura
	Taxa de Produção Verde (TPV) [%] $TPV = \frac{MPV}{MP}$	MPV-Quantidade de matéria prima verde;RM-Quantidade de matéria prima	-
	Sistema de Gestão Ambiental (SGA)	Este indicador avalia a existência de um sistema de gestão ambiental no processo. O SGA pode ser classificado com 0% (não possuem) ou 100% (possuem)	
	Nível de Sustentabilidade Ambiental – Operação $NSAo = \frac{\sum \text{Indicador Social Relativo}}{7}$		
	Nível de Sustentabilidade Social – Processo $NSAp = \frac{\sum NSAo}{NOp}$	NSA- Nível de sustentabilidade Ambiental; NOp- Número de Operadores	

ANEXO B

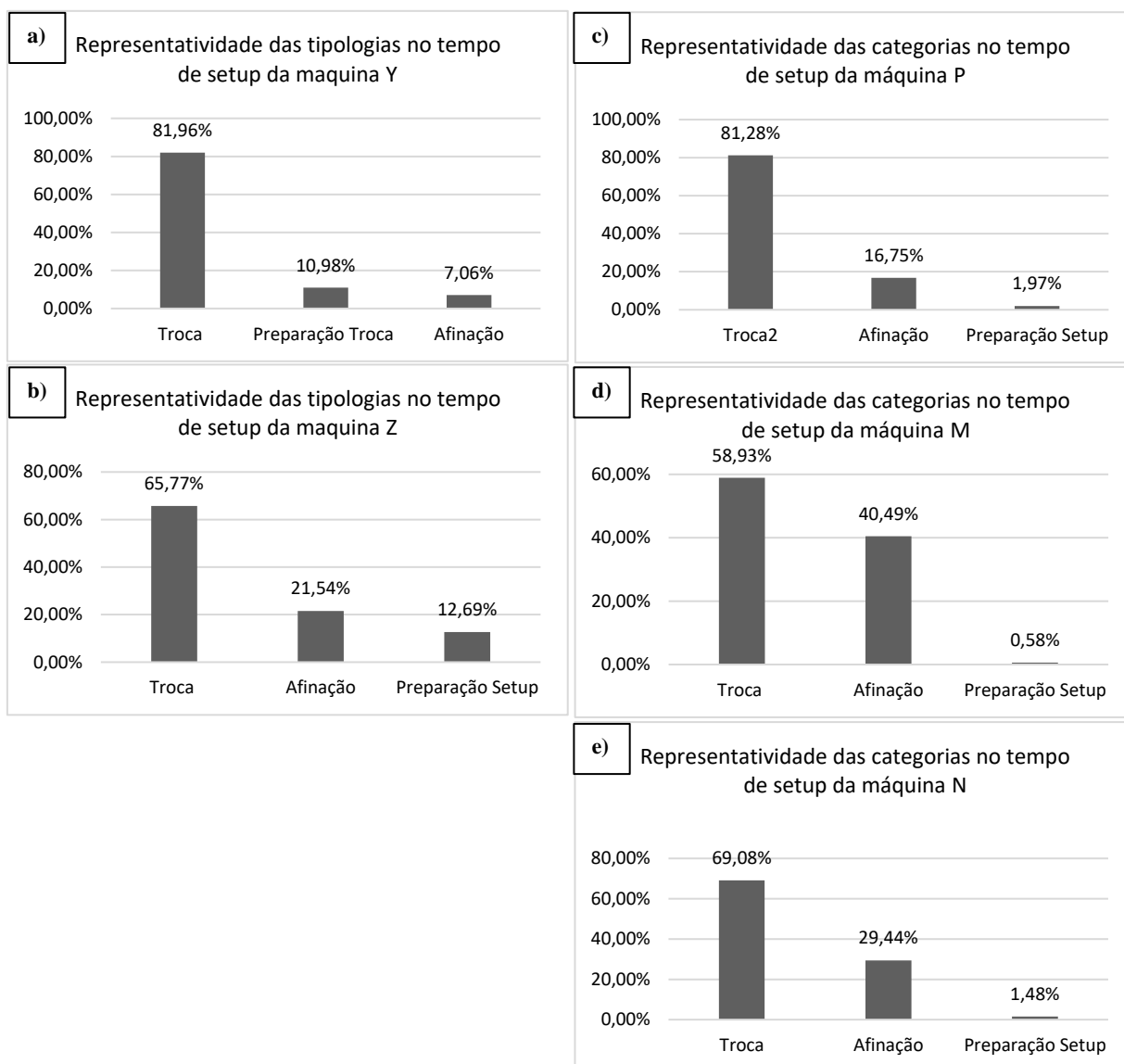


Gráfico 20 - Representatividade das tipologias no tempo de *setup* das máquinas: a) Y; b) Z; c) P; d) M; e) N.

ANEXO C

Referência	Tempo de Ciclo Fundição [s]	Tempo de Ciclo Maquinagem [s]	%ABC	Lucro [€]
Ref. 1	13,5	16,5	34%	14
Ref. 2	16,0	16,0	21%	8
Ref. 3	17,0	17,0	9%	12
Ref. 4	21,7	9,3	6%	18
Ref. 5	14,7	15,3	5%	8
Ref. 6	15,0	15,0	3%	14
Ref. 7	15,2	22,8	2%	15
Ref. 8	15,2	22,8	2%	17
Ref. 9	25,4	25,4	2%	8
Ref. 10	20,9	31,4	1%	9
Ref. 11	25,7	26,7	1%	9
Ref. 12	12,9	30,0	1%	14
Ref. 13	26,2	26,2	1%	11
Ref. 14	36,0	36,0	1%	17
Ref. 15	19,8	13,2	1%	17
Ref. 16	33,6	14,4	1%	13
Ref. 17	20,9	31,4	1%	17
Ref. 18	10,8	25,2	1%	14
Ref. 19	22,8	15,2	1%	15
Ref. 20	17,6	17,6	1%	8
Ref. 21	19,0	19,0	1%	19
Ref. 22	15,2	35,5	1%	18
Ref. 23	30,0	12,9	0%	12
Ref. 24	35,5	15,2	0%	15
Ref. 25	20,3	30,4	0%	9
Ref. 26	28,8	43,2	0%	9
Ref. 27	36,0	36,0	0%	17
Ref. 28	21,6	50,4	0%	16
Ref. 29	25,5	25,5	0%	16
Ref. 30	20,3	30,4	0%	16
Ref. 31	10,5	24,5	0%	12
Ref. 32	23,8	10,2	0%	8
Ref. 33	25,2	10,8	0%	14
Ref. 34	18,0	18,0	0%	19
Ref. 35	22,5	22,5	0%	15
Ref. 36	18,0	27,0	0%	12
Ref. 37	54,0	126,0	0%	13
Ref. 38	19,0	19,0	0%	8
Ref. 39	18,0	18,0	0%	15
Ref. 40	16,8	16,8	0%	19
Ref. 41	21,0	9,0	0%	13
Ref. 42	25,0	25,0	0%	9
Ref. 43	30,0	20,0	0%	8
Ref. 44	21,0	14,0	0%	19

Referência	Tempo de Ciclo Fundição [s]	Tempo de Ciclo Maquinagem [s]	%ABC	Lucro [€]
Ref. 45	15,0	35,0	0%	11
Ref. 46	15,2	22,8	0%	12
Ref. 47	30,0	20,0	0%	16
Ref. 48	60,0	90,0	0%	15
Ref. 49	60,0	90,0	0%	17
Ref. 50	11,5	26,8	0%	15
Ref. 51	23,0	15,3	0%	17
Ref. 52	126,0	54,0	0%	12
Ref. 53	108,0	72,0	0%	13
Ref. 54	100,0	100,0	0%	16
Ref. 55	100,0	100,0	0%	17
Ref. 56	45,0	105,0	0%	10
Ref. 57	75,0	75,0	0%	17
Ref. 58	90,0	60,0	0%	10
Ref. 59	19,1	19,1	0%	15
Ref. 60	15,3	23,0	0%	19
Ref. 61	120,0	80,0	0%	18
Ref. 62	140,0	60,0	0%	9
Ref. 63	9,8	22,9	0%	15
Ref. 64	22,9	9,8	0%	17
Ref. 65	18,0	27,0	0%	16
Ref. 66	32,0	48,0	0%	19
Ref. 67	67,2	28,8	0%	8
Ref. 68	21,6	14,4	0%	17
Ref. 69	21,6	14,4	0%	17
Ref. 70	25,2	10,8	0%	11
Ref. 71	14,4	21,6	0%	15
Ref. 72	18,0	18,0	0%	17
Ref. 73	21,6	14,4	0%	9
Ref. 74	15,7	36,7	0%	19
Ref. 75	56,0	24,0	0%	13
Ref. 76	32,0	48,0	0%	16
Ref. 77	14,4	21,6	0%	8
Ref. 78	25,2	10,8	0%	19
Ref. 79	56,0	24,0	0%	19
Ref. 80	40,0	40,0	0%	11
Ref. 81	10,8	25,2	0%	8
Ref. 82	72,0	30,9	0%	12
Ref. 83	21,6	14,4	0%	19
Ref. 84	34,6	23,0	0%	19
Ref. 85	14,4	21,6	0%	10
Ref. 86	27,0	63,0	0%	16
Ref. 87	35,0	35,0	0%	11
Ref. 88	42,0	28,0	0%	11
Ref. 89	21,5	32,2	0%	16
Ref. 90	25,2	10,8	0%	18
Ref. 91	21,6	14,4	0%	19
Ref. 92	21,6	14,4	0%	10
Ref. 93	25,2	10,8	0%	12
Ref. 94	24,7	57,6	0%	10
Ref. 95	24,7	57,6	0%	15
Ref. 96	41,1	41,1	0%	10
Ref. 97	49,4	32,9	0%	18

Referência	Tempo de Ciclo Fundição [s]	Tempo de Ciclo Maquinagem [s]	%ABC	Lucro [€]
Ref. 98	32,9	49,4	0%	15
Ref. 99	57,6	24,7	0%	8
Ref. 100	49,4	32,9	0%	9
Ref. 101	35,5	15,2	0%	12
Ref. 102	10,8	25,2	0%	14
Ref. 103	21,6	14,4	0%	14
Ref. 104	25,2	10,8	0%	18
Ref. 105	18,0	18,0	0%	15
Ref. 106	21,6	14,4	0%	13
Ref. 107	20,9	31,4	0%	19
Ref. 108	25,2	10,8	0%	11
Ref. 109	28,4	66,3	0%	18
Ref. 110	10,8	25,2	0%	18
Ref. 111	10,8	25,2	0%	10
Ref. 112	25,2	10,8	0%	11
Ref. 113	36,7	15,7	0%	12
Ref. 114	20,9	31,4	0%	18
Ref. 115	18,0	18,0	0%	17
Ref. 116	17,3	40,3	0%	9
Ref. 117	18,0	18,0	0%	13
Ref. 118	26,5	26,5	0%	12
Ref. 119	33,6	14,4	0%	8