

Aplicação do OEE como Ferramenta para Análise e Melhoria da Produtividade

Rui Filipe Guerreiro Neto

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Carlos Bragança de Oliveira



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2018-07-26

Aos meus pais e ao meu irmão,

Resumo

Na indústria da injeção, o crescimento da procura obriga a elevados investimentos em máquinas para incrementar a capacidade produtiva de forma a dar resposta ao volume de encomendas.

A presente dissertação enquadra-se num projeto realizado numa empresa produtora de peças de plástico através do processo de moldagem por injeção. O desenvolvimento do projeto seguiu a metodologia DMAIC, um processo de melhoria estruturado.

A etapa *Define* consistiu na definição do desafio e dos objetivos do projeto. Foi proposto um aumento de 3 pontos percentuais do OEE da injeção de fevereiro até junho de 2018, para permitir suportar um aumento do volume de produção sem investir em novos equipamentos.

Estudou-se a metodologia de cálculo do OEE e o sistema de recolha de dados instalado na empresa, percebendo as suas vantagens e condicionantes, constituindo a etapa *Measure*.

A etapa *Analyse* iniciou com um estudo detalhado do funcionamento do setor da injeção, composto por 56 máquinas. Procedeu-se a uma análise estatística para comprovar quais as variáveis que afetam significativamente os índices do OEE, através de análises ANOVA e intervalos de *Tukey*. Recorrendo a digramas de *Pareto* detalharam-se os motivos de paragem e utilizaram-se sessões de *brainstorming* e diagramas *Ishikawa* para encontrar causas-raiz.

Seguiu-se o desenho e implementação de melhorias, etapa *Improve*. Considerando os resultados da análise visou-se a redução dos tempos de *setup*, através da aplicação da metodologia SMED, permitindo, para a máquina piloto, uma redução de cerca de 26% na duração da mudança.

Atuou-se sobre os erros de parametrização das máquinas, através da redefinição do processo de criação e atualização dos documentos onde estão registados os valores ótimos dos parâmetros.

Foram estudados os métodos de separação de peças e a sua autonomia, pois são fatores que influenciam os encravamentos de peças, paragens de robot e até defeitos de qualidade.

Na etapa final, *Control*, avaliaram-se os resultados e procurou-se garantir a sua continuidade, através de normas e auditorias. O OEE do setor da injeção no final do período de realização do projeto superou o objetivo e apresentou um aumento de 3,9 pontos percentuais, situando-se nos 72%. Este aumento deve-se à melhoria do índice de Performance e do índice de Disponibilidade, sendo que o índice de Qualidade permaneceu constante.

Concluindo, comprovou-se a utilidade do uso da estrutura de perdas do OEE como ponto de partida para a definição de melhorias, principalmente, quando a aplicação desta ferramenta é sistematizada através de uma metodologia de melhoria como o DMAIC.

Palavras-chave: OEE; DMAIC; injeção; ANOVA; SMED

OEE Application as a Tool for Productivity Analysis and Improvement

Abstract

In the injection industry, demand growth requires a large investment in machinery to increase production capacity in order to respond to the high volume of orders.

The present dissertation is part of a project carried out in a company that produces plastic parts through injection molding. The development of the project followed the DMAIC methodology, a structured improvement process.

The *Define* step consisted in the definition of the challenge and goals. An increase of 3 percentage points of the OEE from February until June 2018 was proposed in order to increase the production volume without investing in new equipment.

The OEE calculation methodology and the data collection system installed in the company were studied, realizing its advantages and constraints, which constituted the *Measure* stage.

The *Analyze* stage began with a detailed study of the operation of the injection sector, composed of 56 machines. A statistical analysis was carried out to prove which variables significantly affect the OEE indexes, through ANOVA analysis and Tukey intervals. Using *Pareto* charts, the downtime reasons were detailed. Brainstorming sessions and Ishikawa diagrams were used to find root causes.

The design and implementation of solutions composed the *Improve* step. Considering the results of the analysis, the first aim was the reduction of setup times through the application of the SMED methodology. It allowed for the pilot machine a reduction of about 26% in the changeover time.

The errors in the parameterization of machines were reduced through a re-definition of the GFM creation and updating process, which are the documents where the optimal values of the parameters are recorded.

The separation methods and their autonomy were studied, since they are factors that influence the jamming of parts, robot stoppages and even quality defects.

In the final stage, *Control*, results were evaluated and their continuity was assured through standards and audits. The OEE of the injection sector at the end of the project exceeded the target and presented an increase of 3.9 percentage points, standing at 72%. This increase was due to the improvement of the Performance and Availability Indexes, since the Quality Index remained practically constant.

In conclusion, the utility of using the OEE loss structure as a starting point for the definition of improvements was proven, especially when the application of this tool is systematized through an improvement methodology such as DMAIC.

Keywords: OEE; DMAIC; injection; ANOVA; SMED

Agradecimentos

Ao Instituto Kaizen pela oportunidade de desenvolver este projeto e pelas condições de trabalho proporcionadas. À minha equipa por toda a motivação e rápida integração. Ao meu orientador, Miguel Hespanhol, pela exigência, apoio e confiança demonstrada.

À empresa, agradeço a oportunidade de ter desenvolvido este projeto nas suas instalações.

Ao Prof. Carlos Bragança de Oliveira, por toda a orientação, motivação e apoio.

Aos meus amigos e familiares pela amizade e constante apoio.

Aos meus Pais e ao meu Irmão, sempre presentes em todas as etapas da minha vida.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Apresentação da empresa	2
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Metodologia.....	3
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento teórico	5
2.1	Moldagem por injeção.....	5
2.2	Importância das metodologias <i>Kaizen</i>	6
2.3	TPM	6
2.3.1	5S	7
2.3.2	Mudança corporativa	7
2.3.3	Recolha de dados.....	8
2.4	OEE	8
2.4.1	Seis grandes perdas.....	9
2.4.2	Cálculo.....	10
2.4.3	<i>World Class</i> OEE.....	12
2.4.4	Aplicação	12
2.4.5	Alternativas	13
3	Caracterização do setor	15
3.1	Estrutura e processo produtivo	15
3.2	Setor da injeção	16
3.3	Processo de moldagem por injeção	18
3.4	Sistema de controlo de produção.....	19
4	Análise do OEE	21
4.1	Análise do sistema de registo de dados.....	21
4.2	Análise do OEE da injeção.....	25
4.2.1	Análise de variáveis	29
5	Desenho e implementação de soluções	35
5.1	SMED.....	35
5.2	Guias de Funcionamento de Molde	40
5.3	Métodos de separação.....	43
5.4	Principais Resultados.....	46
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	48
6.1	Principais conclusões.....	48
6.2	Perspetivas de trabalho futuro	51
	Referências	52
ANEXO A:	Máquina de injeção de plástico	55
ANEXO B:	Pilares do TPM	56
ANEXO C:	Eficiência, eficácia e produtividade	57
ANEXO D:	Seis grandes perdas.....	58
ANEXO E:	OEE, OOE e TEEP.....	59
ANEXO F:	Organograma.....	60
ANEXO G:	Processo produtivo	61
ANEXO H:	Layout da injeção.....	62
ANEXO I:	Pressupostos ANOVA	63
ANEXO J:	Resultados ANOVA Tempo de abertura - Turno.....	65

ANEXO K:	Resultados <i>Tukey</i> por máquina.....	66
ANEXO L:	Justificação de paragens e não conformes	68
ANEXO M:	SMED – Estudo do trabalho	69
ANEXO N:	SMED – Avaliação de soluções e auditorias	70
ANEXO O:	GFM – Mapeamento dos processos	71
ANEXO P:	GFM – Parâmetros	72
ANEXO Q:	Processo de novos moldes	73

Siglas

ABS – Poliestireno-acrilonitrila

ANQIP – Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais

DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*

EPDM – Terpolímero de Propileno

GFM – Guia de Funcionamento de Molde

I&D – Investigação e Desenvolvimento

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance*

JIT – *Just-in-time*

OEE – *Overall Equipment Effectiveness*

OOE – *Overall Operations Effectiveness*

OPL – *One Point Lesson*

PDCA – *Plan, Do, Check, Act*

PE – Polietileno

POM – Polioximetileno

PP – Polipropileno

pp – Pontos Percentuais

PS – Poliestireno

ROI – *Return on Investment*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

TEEP – *Total Effectiveness Equipment Performance*

TFM – *Total Flow Management*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TQM – *Total Quality Management*

TSM – *Total Service Management*

WCM – *World Class Manufacturing*

Índice de Figuras

Figura 1 – Cronograma do projeto de acordo com a metodologia DMAIC.....	3
Figura 2 – Diagrama OEE	10
Figura 3 – Diagrama OEE, OOE e TEEP.....	14
Figura 4 – Estrutura hierárquica do setor da injeção	16
Figura 5 – Definição de <i>setup</i> (fonte: adaptado de Reik et al. (2006)).....	21
Figura 6 – <i>Boxplot</i> mudanças	22
Figura 7 – Gráficos de avarias.....	23
Figura 8 – Cadeia de ajuda	25
Figura 9 – <i>Boxplot</i> tempo de abertura por turno.....	27
Figura 10 – <i>Boxplot</i> tempo de abertura por dia da semana	27
Figura 11 – Intervalos <i>Games-Howell</i>	28
Figura 12 – <i>Boxplot</i> tempo abertura por dia e turno	28
Figura 13 – Evolução mensal do OEE	28
Figura 14 – Evolução mensal dos indicadores	29
Figura 15 – <i>Pareto</i> de perdas.....	33
Figura 16 – Diagrama <i>Ishikawa</i>	33
Figura 17 – <i>Standard</i> de registo de mudança	35
Figura 18 – Redefinição da sequência de trabalho (Técnico)	37
Figura 19 – Ponte móvel.....	38
Figura 20 – Melhorias SMED	39
Figura 21 – Fluxo de validação (GFM em ensaio de molde)	42
Figura 22 – <i>Standard</i> de sequência de mudanças.....	44
Figura 23 – OPL Método de separação: passadeira com 1 pá.....	45
Figura 24 – Máquina de injeção (fonte: adaptado de easchangesystems.com).....	55
Figura 25 – Pilares do TPM (fonte: leanproduction.com).....	56
Figura 26 – Eficiência, Eficácia e Produtividade	57
Figura 27 – OEE, OOE e TEEP (fonte: oeecoach.com).....	59
Figura 28 – Organograma.....	60
Figura 29 – Processo produtivo	61
Figura 30 – Layout da injeção	62
Figura 31 – Teste à normalidade	63
Figura 32 – Análise de resíduos	64
Figura 33 – Motivos para justificação de paragens e não conformes.....	68
Figura 34 – Sessão de estudo do trabalho (SMED).....	69
Figura 35 – Estudo do trabalho (SMED).....	69

Figura 36 – Plano de avaliação de soluções	70
Figura 37 – Auditoria da mudança (tarefas do operador).....	70
Figura 38 – Processos de criação e atualização de GFM's.....	71
Figura 39 - Parâmetros	72
Figura 40 – Processo de criação de moldes	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Estatística descritiva das mudanças	22
Tabela 2 – Registo de avarias	23
Tabela 3 – Correlação de indicadores.....	29
Tabela 4 – Indicadores por dia da semana.....	30
Tabela 5 – Indicadores por turno.....	30
Tabela 6 – Indicadores por máquina	31
Tabela 7 – Índices máquina 36.....	32
Tabela 8 – Indicadores por setor	33
Tabela 9 – Rotatividade dos operadores.....	34
Tabela 10 – Rotatividade dos técnicos	34
Tabela 11 – Indicadores por equipa de operadores	34
Tabela 12 – Indicadores por equipa de técnicos.....	34
Tabela 13 – Soluções de melhoria.....	46
Tabela 14 – Resultados.....	47
Tabela 15 – Seis grandes perdas.....	58
Tabela 16 – Teste de <i>Levene</i>	63
Tabela 17 – ANOVA Tempo de abertura - Turno.....	65
Tabela 18 – Disponibilidade por máquina.....	66
Tabela 19 – Performance por máquina.....	67

1 Introdução

O projeto de dissertação em ambiente empresarial integra o 5º ano do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e visa a aplicação de conhecimentos, competências e atitudes adquiridas ao longo do curso. A proposta de intervenção prevê o estudo do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) como impulsionador de melhorias operacionais numa empresa industrial¹, centrada na produção de autoclismos interiores, autoclismos exteriores em plástico e mecanismos para autoclismos cerâmicos.

Neste capítulo introdutório é feita uma apresentação e contextualização do projeto em questão. Apresenta-se a empresa onde foi desenvolvido, definem-se os objetivos a atingir, descreve-se a metodologia adotada e enuncia-se a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Seguindo a tendência mundial, também o setor dos autoclismos tem assistido a um aumento de competitividade assente numa globalização da economia. A crescente exigência e conhecimento dos consumidores obriga a uma oferta mais diversificada obedecendo a altos padrões de qualidade para produtos e serviços. Tudo isto implica que os fabricantes produzam um maior número de tipologias de produtos, com requisitos de qualidade mais rigorosos e prazos de entrega mais curtos. Para poderem acompanhar e satisfazer as necessidades dos clientes, as empresas são muitas vezes forçadas a aumentarem os custos e reduzirem as suas margens de lucro, devido ao aumento dos inventários, sobreprodução, defeitos, e outros desperdícios identificados por Ohno (1988).

Por outro lado, também a produção de peças plásticas para autoclismos apresenta particularidades inerentes às características do setor e do produto. A necessidade de obter estanquicidade após a aplicação de materiais vedantes obriga a que as peças que constituem o autoclismo não contenham defeitos na superfície e apresentem uma precisão dimensional conforme especificado. Também as condições de utilização obrigam a que as peças pertencentes ao mecanismo apresentem uma resistência necessária para lidar com o elevado desgaste a que estão sujeitas. Há também o cuidado com a questão estética, pois existem peças que irão ficar visíveis como as placas de botões dos autoclismos interiores ou os tradicionais autoclismos de plástico exteriores.

Os componentes plásticos que compõem os autoclismos são produzidos recorrendo ao processo de moldagem por injeção. Este processo implica um elevado investimento inicial em máquinas de injeção de plástico, das quais se pretende uma produção contínua e com qualidade, o que obriga a um processo produtivo estável e repetitivo.

O *Total Productive Maintenance* (TPM) é uma metodologia que pretende aumentar a produtividade, focando-se, sobretudo, em manter os equipamentos em condições de funcionamento ideais recorrendo ao envolvimento das áreas de produção e manutenção. O TPM está intrinsecamente ligado ao *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), um método que permite medir a eficácia de um equipamento, particularmente útil quando há uma preocupação em maximizar a utilização do mesmo. Esta ferramenta é, portanto, aplicável às máquinas de injeção de plástico da empresa.

O desafio do projeto relaciona-se não só com a aplicação do OEE como indicador operacional para avaliar a eficácia e eficiência da utilização das máquinas da empresa, mas acima de tudo em retirar do OEE conclusões que suportem a tomada de decisões estratégicas relativas à priorização de ações e projetos de melhoria.

¹ Por motivos de confidencialidade não será referido o nome da empresa onde decorreu o projeto.

Este projeto surge da necessidade da empresa em estudo sustentar a sua competitividade no mercado, num período em que os valores de receita têm atingido máximos históricos. Face a esse crescimento, e tendo em conta que as máquinas de injeção representam um elevado investimento, torna-se ainda mais importante garantir uma utilização eficiente e eficaz das mesmas, recorrendo a ações de melhoria para corrigir os problemas e as perdas identificadas.

1.2 Apresentação da empresa

A empresa em estudo possui cerca de 65 anos de existência e orgulha-se de ser uma das maiores produtoras de autoclismos da Europa. É reconhecida por produzir produtos com elevada qualidade e com um design contemporâneo.

A empresa produz todos os componentes plásticos envolvidos no fabrico de autoclismos: autoclismos interiores, autoclismos exteriores, placas de comando e mecanismos (torneiras de boia e válvulas de descarga).

A empresa controla toda cadeia de valor, desde a conceção da ideia, produção, até à comercialização em mais de 70 países de todo o mundo. A exportação representa 80% do volume de negócio anual, valor que tem vindo a crescer nos últimos anos.

Desde 1993 que a empresa integra um grupo internacional presente em vários setores. O forte crescimento levou a que a empresa expandisse a sua presença mundial, abrindo fábricas noutros países. O presente projeto foi elaborado na unidade fabril de Portugal.

Uma das principais vantagens competitivas da empresa é o foco no cliente, oferecendo uma vasta gama de produtos adaptados às especificidades únicas de cada mercado, numa estratégia de diferenciação personalizada. Como já referido, a oferta de uma maior variedade de produtos introduz maior variabilidade no processo produtivo, dificultando o planeamento e, consequentemente, originando mais desperdícios e custos.

A permanente procura de soluções inovadoras é outra das vantagens competitivas da empresa, que possui diversas patentes referentes às tecnologias usadas no seu processo produtivo e apresenta um elevado investimento em Investigação, Desenvolvimento e Inovação. Esta aposta na inovação em conjunto com o foco na satisfação do cliente e na evolução do mercado permitiram à empresa desenvolver novos produtos como autoclismos com descarga ultrassilenciosa e sistemas mais eficientes que permitem uma poupança significativa de água.

Os produtos são também reconhecidos pelas principais normas mundiais que certificam a qualidade e fiabilidade. O sistema de gestão de qualidade é certificado pela norma ISO 9001:2000, que garante que a empresa demonstra a habilidade de fornecer produtos que cumprem os requisitos do cliente e apresenta processos de melhoria contínua para garantir a manutenção deste foco no cliente (ISO 2018).

Uma outra preocupação da empresa consiste no compromisso com o uso eficiente da água, o que se reflete na certificação Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) com o nível Classe A ou superior, em vários modelos de autoclismos (ANQIP 2017).

Esta aposta na qualidade e inovação está assente numa forte componente de melhoria contínua, bem visível, por exemplo, nas diversas sessões de formação e projetos de melhoria que decorrem regularmente.

1.3 Objetivos do projeto

O projeto tem como principal objetivo a demonstração do potencial da aplicação do OEE como indicador de gestão, auxiliando a tomada de decisões de investimento e aplicação de recursos. Recorrendo a uma metodologia de análise do OEE é possível gerar ações de melhoria baseadas

na estrutura de perdas e nas variáveis que afetam o OEE, permitindo priorizar a sua implementação através de análises custo-benefício.

No contexto da empresa, o foco na melhoria do OEE, uma métrica de eficácia, permitirá aumentar o aproveitamento da capacidade produtiva instalada. Juntamente com uma preocupação na utilização eficiente de recursos, estes dois fatores irão originar oportunidades de aumento de produtividade.

Assim, num período de forte crescimento, será possível aumentar o volume produtivo sem que seja necessário investir em novos equipamentos. Em termos quantitativos, definiu-se como meta o aumento do OEE em, pelo menos, 3 pontos percentuais de fevereiro até junho de 2018.

1.4 Metodologia

A metodologia seguida ao longo do decorrer do projeto pode ser descrita recorrendo à metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*). Esta assenta num método iterativo que envolve cinco passos, organizados ciclicamente (George 2002).

Na etapa inicial, *Define*, identificam-se as razões para a realização do projeto, nomeia-se a equipa e define-se o objetivo primordial a alcançar.

Na fase *Measure*, após uma revisão exaustiva à metodologia de cálculo OEE, recorre-se aos dados recolhidos informaticamente para identificação de problemas. Estuda-se o sistema de recolha de dados e avalia-se as suas condicionantes.

De seguida, na etapa *Analyse*, inclui-se um estudo detalhado do funcionamento da área em estudo para averiguar possíveis variáveis que influenciem o OEE, e potenciais oportunidades de melhoria. Realizam-se diversas análises para expor possíveis relações de causa-efeito. Recorrem-se a métodos estatísticos para comprovar a significância de algumas relações.

No passo subsequente, *Improve*, estudam-se melhorias a introduzir no processo. Recorrendo a sessões de brainstorming realizadas com equipas multidisciplinares, levantam-se possíveis soluções para alguns problemas identificados ao longo da análise. Implementam-se as soluções viáveis com o auxílio de planos de ação cujo acompanhamento do progresso se realiza recorrendo ao ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), uma ferramenta de quatro passos que possibilita a gestão sistemática das ações e iniciativas a desenvolver (Moen e Norman 2009).

Por fim, na etapa final, *Control*, os resultados são avaliados e as soluções validadas. Para assegurar a normalização dos processos documentam-se as melhorias, e caso aplicável, desdobram-se as melhorias aplicadas a outras áreas/máquinas. Estabelecem-se planos de acompanhamento dos resultados e auditorias frequentes para garantir que os ganhos são mantidos.

Apresenta-se na Figura 1 o diagrama das diversas fases do projeto assentes no método DMAIC.

	Mês	Fevereiro		Março			Abril			Maio			Junho					
		S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1	Diagnóstico da situação atual		D	D	D	D	D											
2	Enquadramento teórico																	
3	Caracterização do setor em análise						M	M										
4	Análise do OEE								A	A	A							
5	Identificação de problemas e oportunidades									A	A	A	A					
6	Desenho e teste de soluções											I	I	I	I			
7	Implementação de soluções												I	I	I	I		
8	Transmissão e monitorização de melhorias															C	C	

Figura 1 – Cronograma do projeto de acordo com a metodologia DMAIC

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos, onde é descrita detalhadamente a aplicação da metodologia acima descrita.

No presente capítulo são apresentados o projeto, a empresa onde este decorre, os objetivos traçados e a metodologia de investigação aplicada.

O capítulo 2 compreende a pesquisa bibliográfica. Inclui um enquadramento teórico dos conceitos e metodologias relevantes para o projeto desenvolvido.

No terceiro capítulo é caracterizado o setor que será objeto de estudo, o setor da injeção. É descrito o funcionamento do mesmo, com foco nas atividades e fatores que podem ter influência no indicador OEE.

No capítulo 4 inclui-se uma análise detalhada do OEE. É analisada a estrutura de perdas, bem como os possíveis efeitos das variáveis identificadas. Também se avalia o sistema de registo de dados da empresa, fundamental para o cálculo do OEE.

O capítulo 5 contém as propostas de solução que procuram resolver os problemas e explorar as oportunidades identificadas. São apresentados os resultados alcançados e os planos desenvolvidos para garantir a sustentação dos ganhos.

Finalmente, no sexto capítulo apresentam-se as principais conclusões e sugestões de oportunidades para análise futura.

2 Enquadramento teórico

Neste capítulo é apresentado o estado da arte nas áreas consideradas relevantes para o desenvolvimento do projeto.

2.1 Moldagem por injeção

Um grande número de objetos associados ao nosso dia a dia são produzidos através de moldagem por injeção (Vijayakumar e Gajendran 2014).

A moldagem por injeção é o processo mais usado para produção de peças de plástico. Este processo evoluiu da fundição de metais, contudo, ao contrário dos metais, os polímeros fundidos possuem uma alta viscosidade e não podem ser simplesmente vertidos num molde. Na moldagem por injeção, o material plástico fundido é forçado a entrar nas cavidades do molde, onde é arrefecido para solidificar, sendo posteriormente extraído pela abertura das duas metades do molde. Este processo é conhecido pela sua velocidade e precisão quando comparado com outros processos de moldagem. É capaz de produzir peças complexas e com excelente precisão dimensional (Vijayakumar e Gajendran 2014).

Este método tem a vantagem de apresentar um baixo custo por peça, pois apesar do elevado custo inicial dos moldes e máquinas, são produzidos milhares de peças devido à elevada cadência produtiva.

A principal desvantagem deste método é o elevado custo e tempo necessário para obter uma nova peça. Numa fase inicial são criados o desenho e o protótipo da peça, para de seguida, ser desenvolvido o respetivo molde. Todo este processo envolve sucessivas iterações e requer um elevado investimento. É também difícil efetuar alterações ao molde depois de este estar fabricado, o que justifica o tempo que é despendido na fase de desenvolvimento. Portanto, a experiência e conhecimento de quem está ligado a esta fase do processo é importante para que se consigam custos e prazos mais reduzidos.

O molde utilizado pode conter uma ou mais cavidades distintas, podendo assim produzir diferentes tipos de peças no mesmo ciclo de injeção.

Cada ciclo de injeção é composto por quatro operações básicas: (1) aquecimento do plástico até este fundir, (2) injeção de um volume controlado de plástico fundido sob pressão no molde fechado, (3) arrefecimento da peça de plástico moldada para que esta solidifique e (4) extração da peça, através da abertura do molde (Rosato e Rosato 2012).

Para a execução correta de cada uma destas operações é necessária a introdução de diversos parâmetros na máquina. Estes parâmetros, que incluem temperaturas, pressões, tempos de arrefecimento, entre outros, dependem sobretudo das propriedades e comportamento do material plástico a ser processado, mas dependem também da complexidade da geometria da peça, do molde utilizado e da máquina em questão. Estes parâmetros são determinantes para a produtividade do processo, pois definem o tempo necessário para efetuar cada umas etapas, isto é, limitam a velocidade de produção (Rosato e Rosato 2012).

As máquinas de injeção são classificadas principalmente de acordo com o tipo de sistema de atuação que utilizam: hidráulico, elétrico e híbrido. As máquinas de injeção híbridas combinam a eficiência energética e a precisão das máquinas elétricas com a capacidade de geração de força das unidades hidráulicas (Kamal, Isayev, e Liu 2009).

As injetoras de plástico podem ainda ser classificadas com base na tonelagem, ou mais especificamente na pressão de fixação. Esta pressão mantém o molde fechado durante o processo de injeção. Quanto mais alta a pressão, maior a dimensão da máquina (Kamal, Isayev, e Liu 2009).

A composição de uma máquina de injeção de plástico é apresentada com mais detalhe no ANEXO A.

2.2 Importância das metodologias *Kaizen*

O sucesso de uma empresa depende da sua capacidade de satisfazer os requisitos e necessidades dos clientes. A satisfação dos clientes pode ser vista a partir de três prismas: preço, qualidade e prazo de entrega. Empresas eficientes possuem baixos custos, ao mesmo tempo que possuem elevados níveis de qualidade e curtos prazos de entrega (Suzaki 1993).

A competitividade na maioria dos mercados segue uma tendência crescente devido ao facto do conhecimento e exigência dos consumidores ser cada vez maior. Para terem sucesso as empresas necessitam de oferecer uma gama de produtos cada vez mais diversificada, com padrões de qualidade sucessivamente mais altos e tempos de entrega mais curtos e fiáveis, mantendo sempre os preços competitivos. Como os ciclos de vida da maioria dos produtos também têm vindo a diminuir, ao mesmo tempo que a incerteza aumenta, as organizações correm o risco de acumularem inventários ou de terem de vender o produto com uma margem inferior à pretendida. Perante tudo isto, torna-se ainda mais difícil manter a eficácia e eficiência produtiva devido à variabilidade introduzida no processo e ao aumento dos desperdícios.

As metodologias *Kaizen*, baseando-se no sistema produtivo da Toyota, focam-se na identificação e redução do desperdício (*MUDA*), variabilidade (*MURA*) e do esforço excessivo (*MURI*) (Liker 2003).

Um dos objetivos de todas as empresas industriais deveria ser atingir o estatuto *World Class Manufacturing* (WCM). Ser de classe-mundial significa ser capaz de trazer produtos para o mercado que ofereçam mais valor ao consumidor do que a concorrência sem que isso implique menos lucro (Todd 1995).

A implementação de um programa de *Total Productive Maintenance* (TPM) é um dos requisitos para obter esta acreditação, para além de outras metodologias *Kaizen* intimamente relacionadas, como *Total Flow Management* (TFM), *Total Quality Management* (TQM) e *Total Service Management* (TSM) (Chand e Shirvani 2000).

O TFM está relacionado com a criação de fluxo de material e informação em três vertentes: produção, logística interna e logística externa, seguindo a filosofia *just-in-time* (JIT) (Imai 2012).

O TQM aborda a qualidade dos produtos e processos com o objetivo de atingir um estado de zero defeitos. Esta metodologia ambiciona reduzir os custos de não qualidade (Imai 2012).

O TSM pretende adaptar para a área dos serviços as ferramentas originalmente desenvolvidas para a produção, proporcionando ganhos de eficiência e redução de custos (Kaizen Institute 2015).

Na indústria moderna, as máquinas e equipamentos são uma parte crucial do processo produtivo, especialmente em setores onde estes equipamentos representam uma grande percentagem do capital investido. Assim, o tempo de inatividade das máquinas representa um custo significativo. O principal objetivo do TPM é maximizar a utilização dos equipamentos, suportando-se no indicador OEE (Vijayakumar e Gajendran 2014).

2.3 TPM

TPM, como definido por Nakajima (1988), significa “*manutenção produtiva envolvendo participação total*”.

O conceito foi formulado pelo JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) durante a década de 70, envolvendo experiências práticas em centenas de empresas Japonesas. De acordo com o JIPM, TPM é um sistema que procura criar um compromisso de excelência produtiva transversal a toda a empresa. Este sistema foi desenvolvido a partir do conceito de manutenção preventiva e procura combinar a produção e manutenção incorporando um conjunto de boas práticas e uma cultura assente no trabalho em equipa e melhoria contínua (Gabahne, Gupta, e Zanwar 2014).

O objetivo do TPM é maximizar a eficácia de todas as máquinas, equipamentos e processos, assim como aumentar a eficácia de todos os colaboradores através de um processo de decisão comum e de responsabilidade partilhada (Imai 2012).

Numa fase inicial da sua existência, o TPM focava-se na eficácia apenas das máquinas e equipamentos. Ao longo dos anos, o conceito evoluiu e atualmente incorpora uma visão mais global da produtividade de toda a organização, ainda que uma das principais preocupações continue a ser a utilização eficiente e eficaz dos equipamentos (Wojciechowski 2016).

O modelo TPM consiste em oito atividades de suporte, muitas vezes referidas como pilares, assentes numa base composta pela metodologia 5S, ANEXO B.

2.3.1 5S

5S é uma metodologia para reduzir de forma sistemática o desperdício, otimizar a produtividade e qualidade através da sustentação de um local de trabalho ordenado e do uso de auxiliares visuais para obter resultados operacionais mais consistentes. A prática do 5S visa incorporar os valores de organização, limpeza, normalização e disciplina no local de trabalho. É tipicamente o primeiro método *Kaizen* implementado pelas empresas e funciona como base para todas as outras metodologias (Bayo-Moriones, Bello-Pintado, e Merino-Díaz de Cerio 2010).

Como identificado por Bayo-Moriones, Bello-Pintado, e Merino-Díaz de Cerio (2010), Osada (1991) categoriza o 5S como uma filosofia estratégica para o desenvolvimento organizacional enquanto Hirano (1995) considera o 5S como uma ferramenta ou técnica industrial que diferencia uma empresa dos seus concorrentes.

Independentemente da perspetiva, o objetivo do 5S é permitir que as condições de trabalho sejam melhoradas e que os desperdícios possam ser eliminados de uma forma sustentada. Tudo isto através de uma mudança cultural que permitirá a implementação de metodologias de melhoria contínua sucessivamente mais complexas.

Bayo-Moriones, Bello-Pintado, e Merino-Díaz de Cerio (2010), através da sua pesquisa em 203 empresas espanholas, concluem que existe uma relação positiva, estatisticamente significativa, entre a implementação do 5S e um melhor desempenho em termos de produtividade e qualidade.

2.3.2 Mudança corporativa

TPM é parte de um programa de mudança cultural a longo prazo, assente nos princípios *Kaizen* de melhoria contínua onde o envolvimento de todas as pessoas da organização é necessário para criar uma vantagem competitiva sustentável (Osada e Takahashi 1993).

Sendo um processo de mudança corporativa, a implementação do TPM apresenta obstáculos comuns a todos os processos de mudança, como a existência de paradigmas que originam uma resistência das pessoas à mudança.

Para que se obtenham os resultados esperados as empresas necessitam de garantir a criação de condições favoráveis à implementação das iniciativas de melhoria. Para ultrapassar as dificuldades de implementação deve ser executado um estudo preliminar, pois a implementação

do TPM deve ser ajustada às características específicas de cada empresa, como o modelo e volume de negócio, o espaço físico das instalações, a capacidade produtiva e as características dos produtos (Osada e Takahashi 1993).

É, assim, crucial que uma empresa que implementa um programa de mudança corporativa como o TPM garanta as condições necessárias para planejar e implementar as ações previstas. Paralelamente, se os resultados não puderem ser quantificados ou demorarem demasiado tempo a surgir, a frustração instala-se e os gestores e operadores eventualmente perderão a motivação, comprometendo a implementação do programa (Ljungberg 1998).

2.3.3 Recolha de dados

Segundo diversos autores a recolha precisa de dados é essencial para o sucesso e eficácia a longo prazo das iniciativas TPM. Se a extensão das falhas dos equipamentos e as razões para as perdas de produção não forem inteiramente compreendidas, nenhuma ação TPM poderá ser implementada com sucesso (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000). Também Ljungberg (1998) refere que os registos das perdas nas máquinas fornecem a base apropriada para o planeamento de atividades da metodologia TPM.

Para que sejam retiradas conclusões válidas é essencial investir tempo no desenvolvimento e aperfeiçoamento do sistema de recolha de dados.

Em muitos setores há uma resistência à recolha de dados por parte dos operadores, sendo necessário encontrar uma solução que possibilite obter dados com grande qualidade, mas sem consumir demasiado tempo aos operadores (Ljungberg 1998).

Ljungberg (1998) refere que, em sistemas de recolha manuais, muitas vezes o formulário para registo de dados é demasiado complexo para ser preenchido pelo operador. É importante que o operador seja envolvido na criação desse formulário, conseguindo, desta forma, que ele se comprometa e assuma a responsabilidade de o preencher. No caso de um sistema manual, coloca-se ainda a questão da fiabilidade dos dados recolhidos pelos operadores.

A recolha de dados automática e contínua é um método poderoso para aumentar a utilização dos equipamentos de acordo com Wiendahl e Winkelhake (1988). Um sistema automático pode ser muito preciso e fiável, mas é também dispendioso e mais complexo de implementar, podendo, em alguns casos, não recolher dados com o mesmo nível de detalhe que se obtém com uma recolha manual. Estes sistemas apresentam a grande vantagem de medir e transmitir o tempo de ciclo atual, sendo este um dos parâmetros mais difíceis de recolher manualmente e importante para calcular corretamente o OEE (Ljungberg 1998).

Um sistema de recolha computadorizado pode ser complementado pelo registo manual, por parte do operador, das razões que levaram a uma determinada paragem. Desta forma a questão da falta de detalhe, que se observa nos sistemas automáticos, pode ser ultrapassada. Tendo em conta as vantagens e desvantagens dos dois métodos, esta solução combinada proporciona uma avaliação exata da magnitude das perturbações e um entendimento mais profundo das razões para as perdas (Ljungberg 1998).

2.4 OEE

O OEE apresenta-se como o principal indicador utilizado na metodologia TPM. O JIPM define o OEE como o indicador que descreve o quão bem as máquinas e equipamentos estão a ser utilizados no processo produtivo.

Note-se que a interpretação dos termos em inglês “*efficiency*” (eficiência) e “*effectiveness*” (eficácia) por vezes pode ser confusa. Eficiência avalia o grau de utilização de recursos, é por vezes descrita como “fazer as coisas de maneira correta”, isto é, com o menor consumo de recursos. Uma tarefa executada de forma eficiente permite obter um determinado resultado

consumindo o mínimo de recursos. Enquanto a eficácia mede o grau de alcance de um determinado objetivo, independentemente de como foi obtido, sendo descrito como “fazer as coisas certas”, para se poder atingir o desejado (Wojciechowski 2016). No ANEXO C aborda-se, esquematicamente, a questão da diferença entre eficiência, eficácia e também produtividade.

O OEE, *Overall Equipment Effectiveness*, como o próprio nome indica, é uma medida de eficácia pois é expresso como a razão entre a produção real e a capacidade teórica em condições de desempenho ótimas (Sivaselvam e Gajendran 2014). Ainda assim o TPM está também centrado na maximização da eficiência, pois os ganhos de eficácia pretendidos não deverão ser obtidos à custa de uma redução da eficiência da utilização de recursos.

Perdas produtivas, juntamente com outros custos indiretos e ocultos, constituem uma grande parte dos custos totais de produção. Nakajima (1988) define o OEE como “uma medida operacional que tenta revelar esses custos ocultos” (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

Como referido anteriormente, é de vital importância compreender e medir as perturbações ao processo produtivo para poder aplicar iniciativas de TPM, nomeadamente para calcular o OEE. Jonsson e Lesshammar (1999) classificam essas perdas em crónicas ou esporádicas de acordo com a frequência de ocorrência. Perturbações crónicas são normalmente mais difíceis de identificar pois podem ser muitas vezes aceites como parte do estado normal do processo. A sua identificação apenas é possível através da comparação da performance atual com a capacidade teórica dos equipamentos (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

Ambos os tipos de perturbações têm impacto negativo no desempenho do processo produtivo, já que consomem recursos sem adicionar qualquer valor ao produto final. O OEE identifica essas perdas, e, como refere Nakajima (1988), faz parte de “*uma abordagem bottom-up onde uma força de trabalho integrada se esforça por alcançar a eficiência e eficácia geral dos equipamentos, eliminando as seis grandes perdas*” (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

2.4.1 Seis grandes perdas

A maximização do rendimento operacional depende do esforço que a empresa faz para eliminar as “seis grandes perdas”, responsáveis pela redução da eficácia e eficiência das máquinas e equipamentos (Chand e Shirvani 2000).

Em última instância estas perdas constituem ainda uma barreira à evolução da própria organização (Nakajima 1988).

Nakajima (1988) sugere a divisão das perdas em 6 grandes grupos:

- **Perdas de disponibilidade.** Tempo em que a máquina deveria estar a funcionar, mas está parada;
 1. Falhas. Perdas de tempo por inatividade causadas por paragens não planeadas;
 2. *Setups* e ajustes. Perdas de tempo por inatividade devido a mudanças de produto (*setups*) e ajustes;
- **Perdas de velocidade.** Máquina está ativa, mas não a operar à velocidade máxima;
 3. Microparagens. Perdas causadas por pequenas paragens, relativamente frequentes;
 4. Redução de velocidade. Perdas devido à diminuição da velocidade nominal de produção;
- **Perdas de qualidade.** Máquina está a produzir peças que não satisfazem os requisitos de qualidade necessários;
 5. Defeitos de produção. Perdas por defeitos e retrabalho de defeitos;
 6. Defeitos de arranque. Perdas causadas pelo inferior rendimento que ocorre entre o arranque da máquina e a produção estável.

O OEE é estruturado em termos das seis grandes perdas, sendo calculado como uma função da disponibilidade, performance e taxa de qualidade da máquina, linha de produção, ou mesmo da fábrica, dependendo de qual o foco de aplicação do OEE (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

No ANEXO D pode ser consultada esquematicamente a relação entre os índices que compõem o OEE e as seis grandes perdas, assim como alguns exemplos para cada categoria de perda.

2.4.2 Cálculo

O diagrama da Figura 2 permite uma compreensão mais clara do OEE.

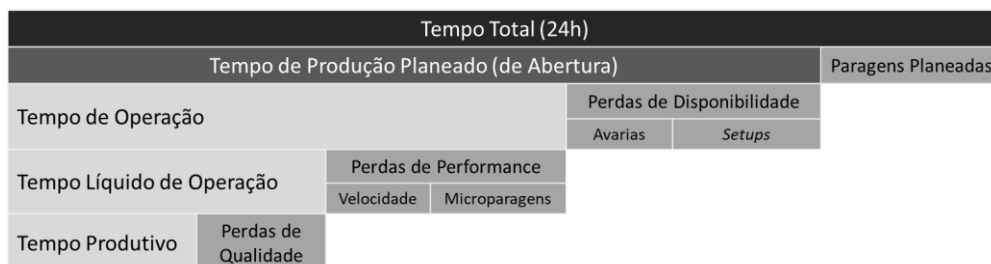


Figura 2 – Diagrama OEE

O OEE pode ser simplesmente calculado dividindo o tempo produtivo pelo tempo disponível para produzir, denominado tempo de abertura, equação 2.1. Por sua vez, o tempo produtivo depende do número de peças conformes produzidas e do tempo de ciclo teórico. Note-se que seria semelhante dividir a produção conforme pela produção teórica que seria esperada durante o tempo de produção disponível, calculada também recorrendo ao tempo de ciclo teórico.

$$OEE (\%) = \frac{\text{Produção Conforme} \times \text{Tempo de Ciclo Teórico}}{\text{Tempo de Abertura}} \quad (2.1)$$

O OEE considera apenas o tempo planeado para produção, ou tempo de abertura, pois, em muitos casos, não há benefício em ter os equipamentos a produzir continuamente, 24 horas por dia. O excesso de produção é talvez o pior dos sete tipos de desperdício identificados por Ohno (1988), pois origina outros tipos de desperdício como inventários e transporte de material. Em muitas empresas, observa-se ainda o paradigma de que maximizar a utilização das máquinas, produzindo em excesso, permite recuperar mais rapidamente os elevados investimentos nessas mesmas máquinas (Wahab, Mukhtar, e Sulaiman 2013). Este pensamento não respeita os princípios JIT da abordagem *Kaizen*, gerando excesso de produção e outros desperdícios. A produção deve respeitar o *takt time*², produzindo a quantidade necessária, no momento em que é necessária (Rother, Shook, e Institute 2003).

Uma outra forma de calcular o OEE, que conduz ao mesmo resultado, é multiplicar os três índices que o compõem: Disponibilidade, Performance e Qualidade, equação 2.2. Com este formato é possível avaliar quais as perdas mais significativas, sendo esta uma das principais funcionalidades desta métrica, como salientado anteriormente.

$$OEE (\%) = \text{Disponibilidade} (\%) \times \text{Performance} (\%) \times \text{Qualidade} (\%) \quad (2.2)$$

Disponibilidade

Indica a percentagem de tempo de operação, isto é tempo em que o equipamento esteve efetivamente a produzir face ao tempo planeado, equação 2.3. Este índice é afetado pelas falhas e pelos *setups* e ajustes.

² *Takt time* é o tempo de ciclo ideal para satisfazer a procura, calculado através da divisão do tempo disponível para produção pela procura (Jacobs, Chase, e Lummus 2011).

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo de Abertura-Paragens}}{\text{Tempo de Abertura}} = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo de Abertura}} \quad (2.3)$$

Atendendo a que o OEE funciona como uma ferramenta para identificar potenciais ações de melhoria, é importante que os motivos das paragens sejam registados, para facilitar a identificação e correção de problemas. Ter códigos predeterminados para os motivos de paragem mais comuns facilita o registo por parte dos operadores, apresentando-se como uma solução simples e rápida.

Performance

Mede a capacidade de o equipamento produzir à velocidade esperada. Inclui, portanto, as perdas de velocidade, mas também as microparagens, paragens de curta duração que não se incluem nas perdas de disponibilidade.

Este indicador por sua vez, dividido em dois outros indicadores: o índice de velocidade operacional e índice de microparagens, equação 2.4 (Nakajima 1988).

$$\text{Performance (\%)} = \text{Índice Velocidade (\%)} \times \text{Índice Microparagens (\%)} \quad (2.4)$$

O primeiro é relativo à diferença entre a velocidade teórica e a velocidade real, equação 2.5.

Roser (2015) destaca três maneiras de obter o tempo de ciclo teórico:

1. Dividir o tempo disponível para produção pela procura, em número de peças, obtendo-se o *takt time*.
2. Usar valores de referência, como o valor estipulado pelo fabricante no caso das máquinas, ou recorrer a bases de dados baseadas no estudo do trabalho manual.
3. Medição por amostragem do tempo entre a conclusão de um ciclo.

Definir um tempo de ciclo teórico é importante pois o valor do indicador é influenciado por este parâmetro. Por vezes, obtêm-se índices de velocidade superiores a 100% (Ljungberg 1998). Apesar de aparentar ser positivo, em muitos casos, isto resulta de uma definição errada do tempo de ciclo nominal. Esse tempo de ciclo poderá estar desatualizado, pois melhorias introduzidas ao processo ou avanços tecnológicos geraram um aumento de velocidade. Por este motivo, poderá ser necessário que o tempo de ciclo teórico seja periodicamente revisto para que o índice de performance nunca exceda os 100%. Porém, é importante destacar que sempre que se atualiza este parâmetro deixa de fazer sentido comparar os novos valores do indicador obtidos a partir daí com os valores calculados anteriormente, a não ser que os valores anteriores possam ser facilmente recalculados usando a nova cadência teórica. A possibilidade de rever parâmetros de cálculos anteriores poderá mesmo ser uma funcionalidade a ter em conta no desenvolvimento do sistema de medição e cálculo do OEE.

$$\text{Índice Velocidade (\%)} = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico}}{\text{Tempo de ciclo real}} \quad (2.5)$$

O índice que microparagens permite visualizar o nível de “*chokotei*” ou paragens momentâneas, equação 2.6 (Nakajima 1988).

A distinção entre uma perda de disponibilidade e uma perda de desempenho, por microparagem, depende, sobretudo, da facilidade de registo e tratamento dos tempos de paragem. Em muitos casos é definido um tempo limite, a partir do qual as paragens têm de ser registadas, e as paragens de duração inferior a esse tempo são consideradas perdas de desempenho.

$$\text{Índice Microparagens (\%)} = \frac{\text{Produção} \times \text{Tempo de ciclo real}}{\text{Tempo de Operação}} \quad (2.6)$$

O índice de desempenho ou performance, equação 2.7, pode ser diretamente calculado pela divisão do tempo líquido de operação pelo tempo de operação.

$$Performance (\%) = \frac{Produção \times Tempo de ciclo teórico}{Tempo de Operação} \quad (2.7)$$

Qualidade

O índice de qualidade é calculado dividindo o número de peças conformes produzidas pelo número total de peças produzidas, equação 2.8. Refira-se que as peças conformes consideradas para o indicador, devem cumprir as especificações à primeira tentativa, ou seja, peças para retrabalho também são consideradas perdas de qualidade.

$$Qualidade (\%) = \frac{Produção conforme}{Produção total} \quad (2.8)$$

O OEE avalia as perdas de produção em termos de tempo perdido ou número de peças que poderiam ser produzidas, oferecendo uma base comum compreendida por todos os envolvidos no processo produtivo.

2.4.3 World Class OEE

Nakajima (1988) sugere que os valores ideais para cada componente do OEE são:

- Disponibilidade acima de 90%
- Performance acima de 95%
- Qualidade acima de 99%

O que se traduz num OEE de aproximadamente 85%, este é o valor de referência para um OEE de classe-mundial.

No entanto, não há consenso em relação a estes valores, e existem diversas opiniões e valores de referência distintos na literatura. Note-se que devido às inerentes diferenças dos processos produtivos entre diferentes indústrias e setores de negócio, é difícil estabelecer quais os valores de disponibilidade, performance e qualidade que constituem um nível aceitável de OEE (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

2.4.4 Aplicação

O OEE pode ser aplicado a vários níveis dentro do ambiente produtivo. Primeiro, pode ser usado para avaliar a evolução temporal do desempenho, comparando o valor inicial do OEE com valores futuros do OEE, desta forma quantificando melhorias alcançadas.

Em segundo, o OEE pode ser calculado individualmente para cada linha produtiva, permitindo comparar a performance das diversas linhas, destacando aquelas com pior desempenho (Nakajima 1988). No entanto, ao usar o OEE como ferramenta comparativa não se podem ignorar as diferenças entre as máquinas e tecnologias (Wojciechowski 2016).

Em terceiro e porventura a aplicação mais relevante, o OEE pode ser calculado ao nível de cada máquina ou equipamento. O papel do OEE vai muito para além da tarefa de monitorizar, não devendo ser visto apenas como um indicador operacional. Ao destacar as grandes perdas, o OEE revela as áreas onde o potencial de melhoria é maior, permitindo priorizar a aplicação de melhorias e ações TPM que irão visar as ineficiências identificadas. (Nakajima 1988)

Ainda que não exista consenso em relação ao valor de referência do OEE, obter um valor numérico não é o resultado mais importante. O OEE permite examinar a estrutura das perdas produtivas através da compreensão da sua extensão, possibilitando a procura das causas-raiz e a definição de prioridades. A identificação das seis grandes perdas produtivas é uma introdução ao processo de identificação das causas-raiz. Esta fase incorpora ferramentas como:

- **5-Porquês.** Técnica originalmente desenvolvida para determinar causas-raiz de problemas de qualidade, porém aplicável com sucesso aos diversos tipos de desperdício (Benjamin, Marathamuthu, e Murugaiah 2015);
- **Diagrama Ishikawa.** Também denominado diagrama causa-efeito ou espinha-de-peixe, é um instrumento gráfico que permite estruturar o raciocínio necessário para identificar as causas de um dado efeito. Em ambiente industrial é vulgar designar as causas principais por Materiais, Métodos, Mão-de-obra, Máquinas, Meio ambiente e Medidas (conjunto designado por 6M) (Ishikawa 1976);
- **Análise P-M.** Método sistemático de resolução de problemas crónicos. Este sistema foi especialmente desenvolvido para colmatar as fraquezas dos métodos tradicionais. A metodologia assenta num programa de 8 passos para assegurar que todos os possíveis fatores são identificados e investigados (Kunio, Kaneda, e Kimura 2004).

Após a identificação da origem das perdas produtivas segue-se a fase de implementação de melhorias. Metodologias e técnicas como Manutenção Autónoma, SMED ou *Poka-Yoke*³, são fundamentais para reduzir a ocorrência de perdas no futuro (Productivity Press 1999).

Nakajima (1988) sugere que um ambiente de trabalho favorável é um de dois pré-requisitos para a aplicação com sucesso do OEE, sendo o outro o treino de atividades TPM e a sua aplicação através de uma mentalidade de melhoria contínua.

O OEE é mais adequado para altos volumes de produção com produção baseada em processos onde a utilização da capacidade é uma prioridade, e as paragens e perturbações apresentam um custo elevado (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

Segundo a análise da literatura conduzida por Jasiulewicz-Kaczmarek e Piechowski (2016), as diferenças na definição do OEE dependem sobretudo:

- Da abordagem em relação à classificação das perdas, como a distinção entre perdas de disponibilidade e microparagens, ou de paragens planeadas e não planeadas;
- Da área de aplicação, que poderá ser uma máquina única, uma linha de produção ou toda a fábrica;
- De características específicas da indústria, como o tipo de produção: discreta (em lote), em fluxo ou contínua.

Com a aplicação do OEE, os operadores e gestores tomam perfeita consciência do que constitui desperdício e de como podem controlar e gerir os processos de forma mais eficiente. A função mais relevante do OEE é o facto de destacar um conjunto de áreas de melhoria operacional onde o potencial de ganho é maior, sendo relevante para o processo de definição de estratégias e objetivos da empresa. (Dal, Tugwell, e Greatbanks 2000).

2.4.5 Alternativas

De acordo com a definição proposta por Nakajima (1988), o OEE exclui paragens planeadas, pois nem sempre se deseja ter as máquinas em produção contínua. No entanto, pode ser importante analisar algumas destas paragens pois podem omitir potenciais problemas.

Giraud et al. (2011) referem que os indicadores devem ser adequados a quem pode atuar sobre eles. Desta forma, outras perdas, que saem fora da competência da operação do processo produtivo, podem ser incluídas para serem analisadas por outros níveis de gestão. Busso e Miyake (2012) apontam algumas dessas perdas:

³ Termo japonês que significa “à prova de erros”.

- **Causas comerciais:** falta de procura ou baixa procura;
- **Problemas logísticos externos:** quebras de abastecimento, problemas com transporte;
- **Normas ambientais:** quotas de produção estabelecidas em função de limites para emissão de dióxido de carbono;
- **Causas naturais:** condições climáticas adversas, desastres naturais;
- **Causas de gestão** relacionadas com a gestão do negócio que afetam a fábrica: inventários, logística interna, segurança, investimento em novos produtos.

Para além do OEE, Wojciechowski (2016) propõe os seguintes indicadores para medir a utilização das máquinas e equipamentos:

- **TEEP.** Total Effectiveness Equipment Performance;
- **OOE.** Overall Operations Effectiveness.

O indicador TEEP (Figura 3) representa uma abordagem que tem em conta todas as perdas possíveis ao longo do processo. Ao considerar que as máquinas ou equipamentos podem produzir 24h por dia, 365 dias por ano (8760 horas por ano), e atendendo ao tempo de ciclo teórico, é possível calcular a máxima produção possível. Esta visão é mais comum em indústrias com um valor alto de rácio custo de capital/custo de mão de obra (Wojciechowski 2016).

A diferença entre o OEE e o TEEP é tempo de paragem planeado. A razão entre o tempo planeado de produção (de abertura), sobre o qual se baseia o OEE, e o tempo total, usado no TEEP, denomina-se Utilização, equação 2.9.

$$Utilização (\%) = \frac{Tempo \text{ de abertura}}{Tempo \text{ total}} \quad (2.9)$$

O TEEP pode ser visto como o OEE, corrigido pelo fator de utilização, equação 2.10.

$$TEEP (\%) = OEE (\%) \times Utilização (\%) \quad (2.10)$$

É discutível se algumas paragens planeadas como reuniões, formação ou manutenção planeada sejam descontadas ao tempo disponível para produção, como acontece no OEE, devendo ser incluídas como perdas (Ljungberg 1998). Por outro lado, considerar 8760 horas de tempo de produção anual pode não ser o mais apropriado. Desta forma o OOE (Figura 3) apresenta-se como solução intermédia e considera como paragens planeadas apenas razões legais, como feriados; razões económicas, como o custo do turno noturno, ou razões de falta de procura (Wojciechowski 2016).

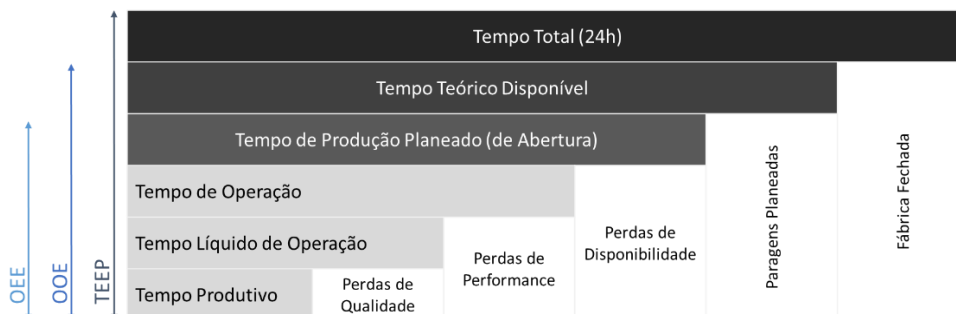


Figura 3 – Diagrama OEE, OOE e TEEP

No ANEXO E pode ser consultado um diagrama mais detalhado que auxilia a compreensão dos três indicadores.

3 Caracterização do setor

Neste capítulo é caracterizado o setor onde decorre o projeto. Inicia-se com uma apresentação do processo produtivo global da empresa e da estrutura organizacional sobre o qual assenta.

O setor da injeção é particularmente detalhado visto que é onde se centrará a análise, sendo a área onde se pretende obter um aumento da produtividade. As várias características desta área são apresentadas pois influenciam direta ou indiretamente o indicador de desempenho.

Por fim é descrito o sistema de controlo de produção responsável pelo registo dos dados necessários para calcular corretamente o OEE.

3.1 Estrutura e processo produtivo

A fábrica em estudo produz durante 24 horas, divididas por 3 turnos, 7 dias por semana. O horário do primeiro turno é das 8h00 às 16h00, o segundo horário dura das 16h00 às 0h00, e finalmente o terceiro da 0h00 às 8h00.

Estrutura organizacional

O organograma da unidade fabril, presente no ANEXO F, apresenta uma estrutura funcional. Esta tipologia aplica o princípio de especialização das funções em todos os níveis da empresa. A especialização é mesmo uma das principais vantagens deste tipo de estrutura organizacional, permitindo uma melhor coordenação do trabalho dentro de cada departamento. No entanto, a esmagadora maioria dos processos de uma empresa, incluindo os processos de criação de valor para o cliente, são transversais a toda a organização, envolvendo vários departamentos. Uma estrutura funcional dificulta a comunicação interdepartamental, originando, por vezes, conflitos entre os mesmos. Esta estrutura, comum em muitas empresas industriais, poderá criar dificuldades à implementação de projetos de melhoria. Apesar de permitir o envolvimento de vários departamentos num projeto, existe o constrangimento de nem sempre se conseguir o comprometimento dos mesmos (Cummings e Worley 2009).

Refira-se que existe nesta unidade fabril uma área autónoma de produção, dedicada a um cliente em particular, sendo esta uma tentativa de aproximação a um outro tipo de estrutura organizacional, a estrutura divisional. Ao agrupar algumas das atividades como produção (montagem e injeção), logística externa e interna, em função desse cliente em particular, cria-se uma divisão autossuficiente e altamente focada no processo de criação e entrega de valor.

Todos os projetos de melhoria implementados têm o suporte do departamento de melhoria contínua, apresentando-se este como um dos principais dinamizadores do desenvolvimento da empresa. Também o projeto em questão, a decorrer no setor da injeção, contará com o apoio da melhoria contínua, para além do envolvimento de outros departamentos.

Processo produtivo

A produção está dividida em duas áreas: injeção e montagem. Uma representação simplificada do processo produtivo, esquematizando o fluxo de materiais que ocorre no interior da unidade fabril, encontra-se no diagrama presente no ANEXO G.

A injeção é uma área funcional, composta por 56 máquinas automáticas de injeção de plástico e é a fase inicial do processo produtivo. Recorrendo à moldagem por injeção, a matéria prima plástica é transformada em componentes que serão posteriormente montados para formar o produto final pretendido. Entre as duas fases do processo existe um inventário de componentes.

A montagem está maioritariamente dividida por tipologia de produto: autoclismos interiores, exteriores, torneiras, mecanismos e placas. Esta área possui também algumas máquinas de injeção, dedicadas a certas famílias de produto, diretamente ligadas à linha de montagem seguindo uma lógica de *layout* orientado ao processo ou à cadeia de valor. Estas células,

denominadas semiautomáticas privilegiam a criação de fluxo, minimizando o *lead time* de produção, seguindo a metodologia TFM.

3.2 Setor da injeção

O projeto centrou-se no estudo da área da injeção, nomeadamente na análise do OEE das máquinas automáticas, demonstrando o potencial desta ferramenta como base para a definição de iniciativas de melhorias que, por sua vez, permitirão aumentar a produtividade deste setor.

É importante compreender como este setor está organizado e quais das suas características têm o potencial de afetar o desempenho.

Organização

O departamento da injeção está organizado em 4 níveis hierárquicos (Figura 4) sendo que o nível da administração é comum a toda a organização.

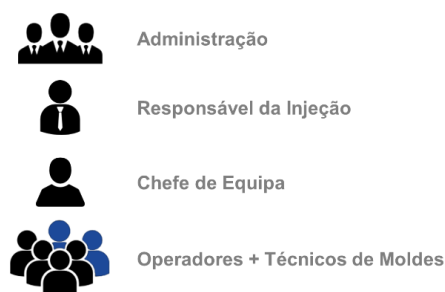


Figura 4 – Estrutura hierárquica do setor da injeção

O Responsável pela injeção tem o dever de gerir e liderar o setor, respondendo perante a administração da empresa.

No nível seguinte encontram-se os chefes de equipa, que lideram as respetivas equipas. Existem 4 equipas, cada uma composta por 1 chefe de equipa e 4 operadores, que efetuam tarefas operacionais. As equipas possuem um horário rotativo, sendo que todos os dias se encontra uma equipa em cada um dos três turnos e uma outra de folga.

Ao chefe de equipa respondem ainda 2 técnicos de injeção. Existem 8 técnicos, que possuem uma rotação horária diferente daquela que os chefes de equipa e operadores efetuam.

É também importante referir que no primeiro turno (8h-16h), e apenas neste turno, trabalha ainda um técnico de apoio, que normalmente está responsável por dar formação, por efetuar ensaios de moldes em máquina e dar suporte aos outros técnicos sempre que necessário.

Layout e Tarefas

A área da injeção está organizada em 4 setores, cada um contendo 14 máquinas de injeção. O layout está esquematizado no ANEXO H.

Cada um dos operadores, que constituem a equipa em ação num dado turno, está alocado a um setor, ficando responsável pelas tarefas associadas às máquinas desse setor. Os operadores realizam as seguintes tarefas operacionais:

- **Manuseamento de caixas/peças.** Como as peças são extraídas do molde e direcionadas para caixas colocadas à saída da máquina, é necessário que o operador substitua frequentemente estas caixas. Esta operação pode consistir em apenas retirar as caixas cheias para formar uma paleta e colocar novas caixas vazias ou, dependendo do tipo de peça, pode implicar o empilhamento das peças numa outra caixa, ou mesmo a separação manual de diferentes tipos de peças.

- **Autocontrole.** Um controle de qualidade periódico, realizado pelo próprio operador, seguindo os princípios do TQM;
- **Registo de produção conforme/não conforme.** É fundamental que os operadores registem a quantidade de não conformes que surgiram numa dada produção. Sem estes dados os indicadores que evidenciam a qualidade não têm significado.
- **Alimentar pigmento.** Enquanto a matéria prima, em granulado plástico, é abastecida à máquina através de um Sistema Central de Aspiração, o pigmento, responsável pela cor da peça, é fornecido também sob a forma granular, mas recorrendo a tubos instalados diretamente em cada máquina. Estes tubos devem ser regularmente substituídos para que não ocorra uma paragem de máquina;
- **Mudanças de molde.** Os operadores participam nas operações de mudança de molde, realizando a fase inicial de preparação e auxiliando o técnico na troca dos moldes.

Os dois técnicos de injeção ficam responsáveis pelos setores 1&2 e 3&4. Os técnicos realizam tarefas estreitamente ligadas aos conhecimentos que possuem relativamente ao funcionamento dos moldes e das máquinas automáticas:

- **Mudanças de molde.** O técnico realiza a mudança de molde com o auxílio de um operador;
- **Arranque de máquina.** As tarefas de parametrizar e iniciar o programa da máquina, assim como testar e calibrar eventuais parâmetros são da responsabilidade do técnico. Caso a máquina possua um robot para auxiliar a extração e separação das peças, é também o técnico que configura este periférico;
- **Responder a alarmes.** Os técnicos são os elementos mais qualificados para resolver os alarmes que surgem sempre que uma máquina tem uma paragem não planeada.

O chefe de equipa tem a responsabilidade de gerir e coordenar toda área da injeção. Apesar de se pretender que o chefe de equipa ocupe a maioria do seu horário com tarefas de gestão, verificou-se, através de um levantamento das tarefas realizadas e da sua duração, que há um excesso de tarefas operacionais e de resolução de problemas, que ocupam cerca de 50% do tempo disponível:

- **Passagens de turno.** Os chefes de equipa devem realizar passagens de turno no início e final do seu turno. Informações relativas ao estado do plano de mudanças de moldes, máquinas paradas, problemas de qualidade ou prioridades de produção devem ser comunicadas ao chefe de equipa que vai entrar a seguir;
- **Reunião de Kaizen Diário.** O chefe de equipa deve liderar a reunião no início de cada turno, que tem o propósito de comunicar à equipa informação relevante como o plano para o turno em questão, indicadores do dia anterior e alertas que surgiram no turno anterior relativos a qualidade, segurança e avarias (Imai 2012).
- **Responder a alarmes.** O chefe de equipa é a primeira pessoa a quem os operadores reportam que uma dada máquina entrou em alarme. Avarias de simples resolução são solucionadas diretamente pelo chefe de equipa, enquanto que problemas mais complexos são transmitidos para os técnicos.
- **Apoiar operador.** Por vezes, ao longo do turno, o chefe de equipa tem a necessidade de apoiar os operadores com as suas máquinas ou mudanças. Para além disso, em cada turno, o chefe de equipa tem mesmo a responsabilidade de substituir operadores durante o tempo de pausa dos mesmos, totalizando 1 hora de substituição.

- **Arranque de máquina.** No caso específico de mudanças de postigos, realizadas pela oficina de moldes, o chefe de equipa é responsável por efetuar o arranque da máquina após a mudança.

Para além das máquinas de injeção, esta área possui também zonas de arrumação, onde se encontram arrumados os cerca de 700 moldes ativos que a empresa possui.

Estreitamente ligada à área de injeção está a oficina de moldes, responsável pela manutenção dos moldes. Nesta oficina encontram-se também os postigos que serão usados nos diferentes moldes. Os postigos são partes metálicas que podem ser montadas e desmontadas no molde sempre que se pretendam efetuar pequenas alterações à geometria das suas cavidades, e consequentemente, às peças que o molde produz. Estas alterações podem ser, por exemplo, gravações nas peças ou mesmo ligeiras alterações às formas das peças.

Refira-se que tarefas de manutenção mais complexas, como a reparação dos moldes, são efetuadas numa outra unidade fabril que também pertence à empresa em questão. Esta fábrica, também responsável pelo fabrico dos moldes, está situada ao lado da fábrica em estudo.

3.3 Processo de moldagem por injeção

As 56 máquinas de injeção de plástico que a fábrica em estudo possui são maioritariamente hidráulicas, sendo que a empresa tem vindo a adquirir algumas unidades híbridas, que possuem a vantagem de conciliarem a eficiência energética e a precisão das máquinas elétricas com a capacidade de geração de força das hidráulicas.

O processo de moldagem por injeção começa pela escolha da matéria prima. A unidade em questão produz peças usando diferentes polímeros: PE (Polietileno), PP (Polipropileno), POM (Polioximetileno), ABS (Poliestireno-acrilonitrila), PS (Poliestireno) e EPDM (Terpolímero de propileno). As características e comportamento de cada material exigem diferentes parâmetros.

O abastecimento do granulado plástico é efetuado recorrendo a um Sistema Central de Aspiração instalado na fábrica. Dependendo do tipo de polímero pode ser necessário retirar a humidade do material colocando-o na estufa.

O tipo de pigmento, responsável por dar a cor pretendida à peça, é também dependente do tipo de matéria prima que está a ser utilizado. Este pigmento é abastecido na máquina recorrendo a tubos de dimensão relativamente reduzida, pois ocorrem frequentemente contaminações de cores, e com unidades de abastecimento de menor quantidade reduz-se o desperdício em caso de contaminação. Ainda assim, em máquinas com produção mais estável e prolongada, logo com menor risco de contaminação, o pigmento é alimentado a partir de contentores maiores.

O funcionamento das máquinas segue o processo visto na revisão da literatura, esquematizado no ANEXO A. O polímero granulado é aquecido no cilindro de aquecimento, atingindo o ponto de fusão. Este aumento de temperatura deve-se simultaneamente ao aquecimento através de resistências térmicas e ao aumento de pressão devido ao efeito do parafuso. O parafuso empurra o material na direção do molde. O plástico líquido a alta pressão é injetado no molde através do bico, preenchendo as cavidades no interior do molde. Depois de assumir a forma das cavidades o plástico é arrefecido para que solidifique, recorrendo a refrigeração por água (ou óleo). Por fim o molde é aberto para que se possa retirar a peça. A extração pode ser feita recorrendo a pinos extratores que empurram a peça, e esta cai numa rampa por efeito da gravidade, podendo ficar em caixas localizada no final da rampa ou entrar numa passadeira inclinada. Um outro método de extração usado implica o uso de um robot que é capaz de retirar a peça e depositá-la diretamente na caixa ou passadeira horizontal. Em certos casos o robot já é capaz de empilhar as peças, libertando tempo ao operador que teria de realizar esta tarefa.

Uma questão importante está relacionada com a existência, ou não, de gito. Gito ou jito é a denominação dada ao desperdício originado pela solidificação do plástico que se encontra nos

canais de alimentação. Este desperdício de plástico é posteriormente moído para ser reaproveitado. É possível produzir peças sem grito, usando moldes de canal quente, porém estes moldes apresentam um custo de fabrico mais elevado. No caso de existir grito, este tem de ser separado das peças, similarmente ao que acontece quando um molde produz diferentes referências. Esta separação é facilitada nos casos em que a máquina possui robot disponível, nos outros casos a divisão pode ser feita através de passadeiras com pás, crivos, separadores colocados na rampa ou, no pior dos cenários, por separação manual realizada por um operador.

Mudanças de molde

Cada um dos cerca de 700 moldes ativos atualmente podem produzir uma ou várias referências simultaneamente dependendo de como foram definidas as cavidades na fase de desenho do molde. Moldes que produzem mais do que um código de artigo no mesmo ciclo de injeção são denominados moldes família. Estes moldes produzem simultaneamente peças de geometrias e volumes diferentes que, ao serem posteriormente montadas, originam o produto final pretendido. A vantagem dos moldes família é o facto de não ser necessário efetuar uma mudança de molde para produzir diferentes tipologias de peça, o que diminui o tempo de paragem, aumentando a produtividade das máquinas de injeção, e ao mesmo tempo reduz o nível de inventário necessário. Por outro lado, moldes família geram uma outra dificuldade: a separação das diferentes referências quando se extraem as peças do molde. Existem vários métodos de separação, aplicados de acordo com a geometria e volume da peça, como passadeiras com pás, uso de mão de robot ou separação manual efetuada pelo operador.

Além dos diferentes moldes, a injeção trabalha igualmente com inúmeros postigos que, podendo alterar a geometria das cavidades, originam ainda mais referências. Deste modo compreende-se que as máquinas automáticas da área da injeção tenham produzido, só nos primeiros dois meses de 2018, mais de 1000 códigos de artigos diferentes.

Tendo presente a diversidade de artigos a produzir, as mudanças de molde representam um papel importante no processo produtivo. Atualmente o planeamento é elaborado considerando 16 mudanças de molde por turno, divididas equitativamente pelos dois técnicos de injeção presentes em cada horário.

Em cada mudança de molde, os técnicos têm o auxílio do operador responsável pela máquina onde se efetua a mudança. Esta partilha de tarefas deve-se ao facto de, durante a mudança do molde, ser necessário realizar atividades de ambos os lados da máquina de injeção o que devido à dimensão da máquina, originaria grandes deslocações caso esta operação fosse realizada apenas por uma pessoa. Deste modo, ao realizar a mudança de molde com duas pessoas é possível diminuir o tempo de *setup* e, simultaneamente, reduzir o desperdício de movimento, apesar de se poder aumentar o desperdício de espera no caso das tarefas dos dois intervenientes não estarem balanceadas.

A operação de mudança de molde implica a ação manual de retirar o molde que se encontra na máquina e encaixar o molde novo, recorrendo a uma ponte móvel. Refira-se que existem duas pontes móveis disponíveis na área da injeção: uma para o setor 1&2 e outra para o setor 3&4. Para além do transporte e da própria montagem do molde na máquina, é necessário ainda que o técnico efetue o arranque, o que implica parametrizar e calibrar a máquina para que se produzam peças conformes de acordo com as especificações de qualidade.

3.4 Sistema de controlo de produção

As máquinas de injeção da empresa estão ligadas a um sistema de controlo e monitorização. Este sistema informático deteta o estado de funcionamento das máquinas permitindo registar automaticamente qualquer paragem, com precisão ao segundo. Desta forma ultrapassam-se as dificuldades típicas do registo manual: o tempo despendido e a imprecisão dos registos.

Como se constatou na literatura, um sistema automático apresenta ainda a vantagem de facilitar a medição e monitorização do tempo de ciclo. Num sistema manual esta é uma tarefa de complexidade acrescida, tornando-se um obstáculo ao cálculo do OEE, nomeadamente do índice de velocidade. O sistema da empresa em estudo permite a visualização em tempo real das cadências de produção de cada máquina.

Apesar de registar os tempos de inatividade, este tipo de sistema não é capaz de registar também de forma automática o motivo de paragem. Para se obter esta informação é necessário que os operadores declarem os motivos de paragem, sendo que as opções devem ser previamente inseridas no sistema para agilizar o registo por parte do operador e garantir a uniformidade da informação. O sistema permite apenas a seleção de três motivos de paragem:

- Mudança de molde;
- Avaria de máquina;
- Avaria de molde.

Existe mais um registo que se exige que o operador efetue: o registo de não conformes. Utilizando a informação do número de peças que um dado molde injeta em cada ciclo, o próprio sistema regista o número total de peças produzidas. Todavia, a avaliação de qualidade é efetuada pelo operador, regularmente através do autocontrolo e durante o manuseamento de peças por inspeção visual. Este controlo é também efetuado por elementos do departamento de qualidade que efetuam obrigatoriamente um controlo de qualidade aquando do arranque das máquinas. Consequentemente, sempre que seja detetada uma não conformidade que obrigue a rejeitar uma determinada porção de peças produzidas, é necessário que essa quantidade seja registada no sistema, permitindo calcular o índice de qualidade.

Associado a este sistema existe ainda o *Andon*, uma forma de gestão visual do estado das máquinas e dos eventos mais relevantes. O *Andon* é um dispositivo de sinais luminosos e/ou sonoros que alertam para uma qualquer ocorrência no processo produtivo.

Neste caso, uma coluna de luzes composta por 4 cores está colocada no cimo de cada máquina, apresentando os seguintes significados:

- **Verde.** Em produção dentro do tempo de ciclo teórico;
- **Verde intermitente.** Em produção fora do tempo de ciclo teórico;
- **Vermelho.** Paragem planeada;
- **Vermelho intermitente.** Alarme – paragem não planeada;
- **Âmbar.** Mudança de molde;
- **Azul intermitente.** Autocontrolo necessário.

4 Análise do OEE

Neste capítulo inicialmente é estudado o sistema de recolha de dados e são identificadas limitações deste para o cálculo do OEE. Seguidamente são desenvolvidas análises estatísticas para encontrar e comprovar a existência de relações entre o OEE, incluindo os indicadores que o compõem, e algumas variáveis inerentes ao processo produtivo da injeção. É aprofundada a análise de perdas para as categorias mais significativas, cujos resultados servirão de base ao desenvolvimento de soluções de melhoria. As análises foram realizadas recorrendo aos *softwares Minitab e MS Excel*.

4.1 Análise do sistema de registo de dados

O OEE é calculado dividindo a produção conforme real pela produção teórica (ou o tempo teórico de produção pelo tempo real), equação 2.1, ou recorrendo à decomposição do indicador em Disponibilidade, Performance e Qualidade, equação 2.2. Atendendo ao objetivo do projeto, que passa por identificar os focos de perdas para que melhorias possam ser introduzidas, nesta análise, além do valor do OEE será também considerada a sua estrutura de perdas.

Os dados necessários para esta análise foram conseguidos recorrendo ao sistema informático que a empresa em estudo possui.

Mudanças

O sistema regista de forma automática os tempos de produção e de paragem de cada máquina, incluindo a data/hora da ocorrência, o molde, a referência da peça (ou das peças) e o número do lote que está em produção no momento do registo. O motivo da paragem está dependente de registo manual. Caso a paragem seja para mudança de molde, postigo, matéria-prima ou pigmento o registo é efetuado num ponto junto à máquina utilizando uma chave. O técnico que irá efetuar a mudança deve inserir e rodar a chave quando inicia a mudança, o que ativa também a luz âmbar do sistema *Andon* indicando *setup*, e retirá-la quando a mudança termina.

Este procedimento obriga a que todas as mudanças sejam registadas, no entanto a duração das mudanças nem sempre é corretamente registada. O tempo de *setup* ocorre entre a produção da última peça boa do lote anterior e a primeira peça boa do lote seguinte (Arai e Sekine 2006). Similarmente, McIntosh et al. (2001) define o tempo de mudança como o tempo que decorre entre o final da produção anterior à velocidade máxima e a primeira peça da produção seguinte, à taxa de velocidade e qualidade desejadas, como se verifica na Figura 5.

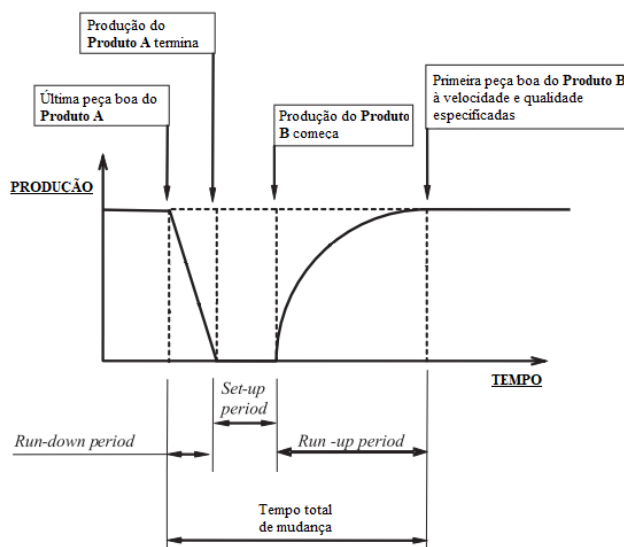


Figura 5 – Definição de *setup* (fonte: adaptado de Reik et al. (2006))

Para além do registo da duração poder não estar de acordo com a definição mais correta de *setup*, há ainda o facto de não haver distinção quanto ao tipo de mudança. As mudanças de pigmento ou matéria-prima têm uma duração muito inferior à da mudança de molde, e mesmo esta é diferente da mudança de postigo, que normalmente é menos complexa. Ao registar todas estas mudanças numa única categoria não se consegue o detalhe necessário para se seleccionar o tipo de mudança que apresenta um maior potencial de melhoria, por ocorrer mais vezes ou apresentar uma maior variabilidade, por exemplo.

A Tabela 1 apresenta um resumo da estatística descritiva dos registos de mudanças do mês de março de 2018 para uma máquina exemplo com 20 *setups*. Na Figura 6 apresenta-se um gráfico *boxplot* dos mesmos dados. Como se pode observar estão registados na mesma categoria os vários tipos de mudança, pois a duração dos *setups* apresenta uma amplitude elevada. Constatase que a média e mediana são cerca de 24 e 25 minutos, respetivamente, e examinando o gráfico *boxplot* repara-se que a distribuição dos valores é pouco assimétrica, como se comprova pela assimetria (*skewness*) próxima de 0. Confirma-se a necessidade de efetuar o registo separado das várias tipologias de mudança para que se possam gerar melhorias.

Tabela 1 – Estatística descritiva das mudanças

Mudança/Setup	
Média	0:23:51
Desvio Padrão	0:11:10
Mediana	0:25:06
N	20
Mínimo	0:04:40
Máximo	0:46:31
Amplitude	0:41:51
Total	7:57:05
Kurtosis	-0,40
Skewness	0,17

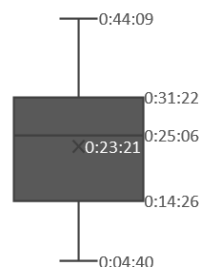


Figura 6 – Boxplot mudanças

Avárias

Para registar as outras causas de paragem é necessário que os operadores registem no computador o motivo da paragem, sendo que existe um computador em cada um dos quatro setores. Sempre que as máquinas param, entrando em alarme com a luz vermelha intermitente no *Andon*, o sistema regista automaticamente a ocorrência como paragem não planeada, contabilizando a duração da mesma. Ao operador (ou técnico) são apresentados apenas dois motivos para justificar a paragem: avaria de máquina e avaria de molde.

Refira-se que a máquina quando entra em alarme apresenta na consola um código de alarme como indicação de pressão excessivamente elevada, por exemplo. No entanto, o sistema de registo e controlo não consegue registar automaticamente esse código.

Qualquer paragem que não seja justificada fica registada em sistema com o motivo “Por declarar”. Recorrendo aos dados de março de 2018 para uma máquina exemplo, apresenta-se na Tabela 2 os resultados obtidos. Observa-se na Figura 7 que no mês analisado nesta máquina 75% dos registos de paragem, excluindo mudanças de molde, não foram declarados, sendo que os declarados se dividem igualmente em avaria de máquina e avaria de molde. No entanto quando se considerarmos o tempo acumulado dessas paragens os não declarados representam apenas 3% do tempo de paragem total, e o grande motivo de paragem é avaria de molde com 71%. Contabilizando a duração média de cada tipo de paragem conclui-se que as avarias de máquina duram em média 45 minutos, problemas nos moldes demoram cerca de 2 horas a resolver e os registos por declarar são sobretudo paragens de curta duração, durando em média 5 minutos. Na verdade, acontece que os operadores não registam os motivos das paragens mais

curtas tendo apenas essa preocupação quando o tempo de inatividade é consideravelmente maior. Isto deve-se sobretudo ao facto de o número de ocorrências de menor duração ser bastante elevado, tornando moroso e improdutivo o processo de registo.

Tabela 2 – Registo de avarias

Registo de avarias			
	N	Duração total	Duração média
Avaria Máquina	19	14:28:32	0:45:43
Avaria Molde	20	42:08:14	2:06:25
Por declarar	115	9:59:14	0:05:13
Total	154	66:36:00	

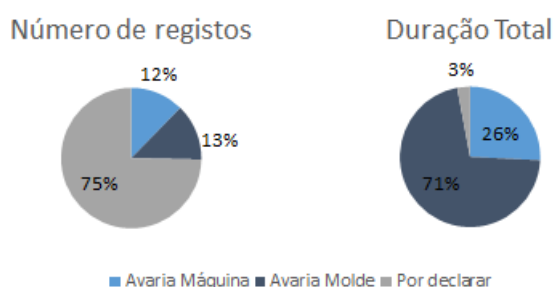


Figura 7 – Gráficos de avarias

Ainda relativamente ao registo de avarias constatou-se uma outra limitação do sistema. Caso a avaria seja de resolução demorada e seja necessário desligar a alimentação da máquina, o sistema deixa de contabilizar o tempo de paragem. Por vezes a duração da paragem é posteriormente corrigida manualmente, embora isso nem sempre aconteça.

Velocidade

Em termos de performance o sistema permite monitorizar em tempo real o tempo de cada ciclo de injeção, estando este parâmetro ligado ao sistema *Andon*, como já mencionado, para permitir um maior controlo da velocidade das máquinas.

Os tempos de ciclo teóricos estão também armazenados no sistema. Estes tempos estão definidos por combinação de referência e máquina, o que significa que está estabelecida uma velocidade ótima para cada referência em cada máquina onde é produzida. Na moldagem por injeção o tempo de ciclo de produção de cada peça depende de vários fatores como a configuração e composição da peça, o formato do molde e as características da máquina. A geometria da peça e a sua complexidade são o primeiro fator que limita a velocidade da injeção. Também a configuração do molde, que define o número de peças a produzir em simultâneo e os canais de alimentação das peças, é um ponto a considerar. As matérias primas utilizadas possuem diferentes comportamentos, influenciando o tempo de ciclo. E, finalmente, a capacidade da máquina apresenta-se como uma outra condicionante ao valor da cadência produtiva ótima.

Perante todos estes fatores, o tempo de ciclo ótimo deve ser definido através de ensaios de molde realizados em cada máquina onde se pretenda que esse molde venha a produzir, estabelecendo a maior velocidade que permita cumprir com os requisitos de qualidade definidos.

Ao calcular o índice de velocidade, isto é, a razão entre o tempo de ciclo teórico e o real (ou entre a cadência ou velocidade real e a teórica) obtiveram-se alguns valores bastante superiores a 100%. Esta questão, como se constatou na pesquisa bibliográfica, ocorre devido a uma definição errada, ou desatualizada, das velocidades teóricas. A redefinição dos tempos de ciclo deve ser efetuada para as mais de 1000 referências de artigos, com parte delas a ser produzidas

em diferentes máquinas. Considerando ainda que uma correta definição da velocidade implica um ensaio, optou-se, para a presente análise, por redefinir os tempos de ciclo teóricos por estimativa pontual usando os registos de produção de 2017 e 2018 e um horizonte temporal diário. Assim, o ciclo teórico para cada referência i em cada máquina j será definido como o valor mínimo dos tempos de ciclos (ou o máximo da cadência) para a essa referência i produzida na máquina j que se verificaram ao longo dos diversos dias t , equação 4.1.

$$ciclo\ te\acute{o}rico_{ij} = \min \left\{ \frac{Tempo\ de\ produ\c\tilde{c}\~{a}\~{o}\ efetivo_{ijt}}{N\acute{u}mero\ de\ pe\c{c}as_{ijt}} \ para\ t = 1, \dots, T \right\} \quad (4.1)$$

Microparagens

O sistema contabiliza automaticamente todas as paragens, com precisão ao segundo, logo as microparagens são também registadas pelo sistema. Assim o tempo de produção registado é o tempo efetivo de produção, ou seja, não inclui microparagens não registadas, algo comum em sistemas de registo manuais. A cadência real de um período ininterrupto de produção é simplesmente a quantidade produzida sobre a duração desse período.

Perante este cenário, existe a possibilidade de incluir as microparagens no índice de disponibilidade ou no índice de performance, mantendo a definição original do OEE. Esta decisão depende de quem será responsabilizado por essas perdas (Jeff Barkehanai 2015).

- **Disponibilidade.** As microparagens são categorizadas como tempo de inatividade afetando o índice de disponibilidade. Este índice, por definição, é da responsabilidade das áreas da manutenção e engenharia.
- **Performance.** As microparagens são contabilizadas para o tempo de produção, tendo impacto no índice de performance. Este índice é geralmente da responsabilidade da área operacional.

Paralelamente há uma outra decisão a tomar que diz respeito à duração que limita uma microparagem.

Uma vez que as paragens mais curtas são resolvidas pelos próprios operadores, técnicos ou chefes de equipa, isto é, pela área operacional, é correto considerar que as microparagens impactam o índice de performance do OEE.

Em termos de duração, serão consideradas microparagens as interrupções inferiores a 6 minutos, pois estas paragens são facilmente resolvidas pela área operacional através de um *reset* à máquina ou reajuste de parâmetros. Paragens com duração superior serão tratadas como tempo de inatividade e afetarão o índice de disponibilidade. Este valor limite foi estabelecido através da definição da cadeia de ajuda que define as responsabilidades em caso de paragem não planeada (Figura 8).

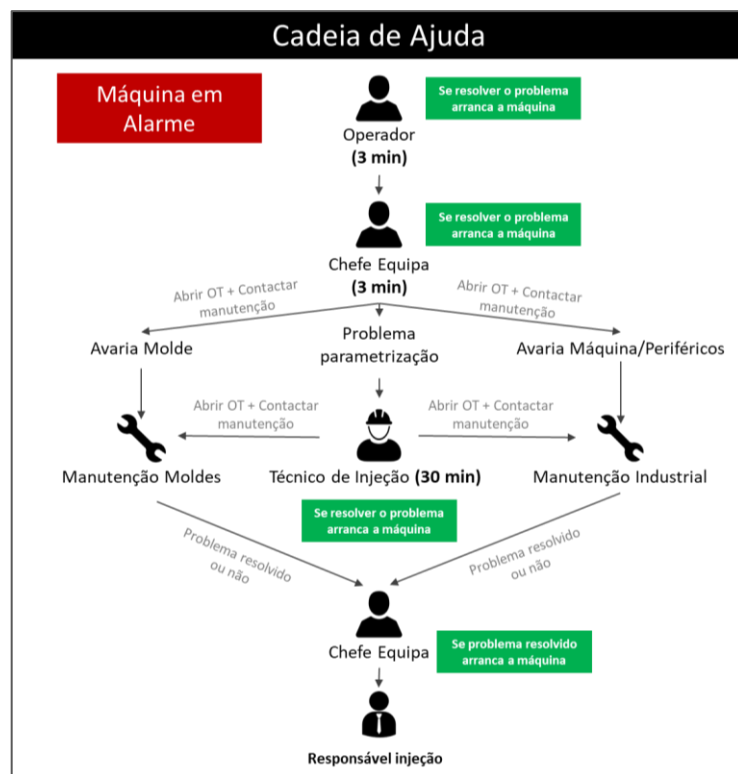


Figura 8 – Cadeia de ajuda

Qualidade

No final da produção de cada lote é exigido que o operador confirme as quantidades produzidas e registe a quantidade de peças não conformes que rejeitou. Estes dados permitem o cálculo do índice de qualidade que constitui o OEE. Esta fase é também importante para a gestão de inventários, permitindo uma operação uniforme na fase seguinte, a montagem, onde o abastecimento às linhas se faz através de um sistema *Pull*, recorrendo a *Kanbans*. Este sistema obriga a que o inventário informático seja coerente com o *stock* real e ainda que as quantidades de peças por caixa cumpram o estabelecido para que não ocorram quebras no abastecimento.

Contudo, é relevante referir que se constatou que este registo de não conformes nem sempre é efetuado, limitando-se os operadores a confirmar as quantidades produzidas sem descontar a quantidade que não cumpre os requisitos mínimos de qualidade. Este problema ocorre porque é necessário que os operadores contabilizem manualmente o número de peças rejeitadas para que o possam registar.

Perante isto, relativamente ao OEE, conclui-se que os valores do índice de qualidade apresentados ao longo desta análise devem ser interpretados tendo presente que a percentagem real de não conformes poderá ser superior.

4.2 Análise do OEE da injeção

Possuindo todos os dados necessários é então possível calcular o OEE e todos os seus componentes. Serão utilizados os registos desde janeiro de 2017 a março de 2018.

Refira-se que os indicadores que constituem a análise são percentagens, e, portanto, o horizonte temporal escolhido para o cálculo influencia os resultados. Isto é, calcular o valor do OEE para cada um dos 7 dias de uma semana com dados diários, e determinar o valor médio desses valores não é o mesmo que calcular o OEE diretamente com dados semanais. Neste caso, o erro está em usar uma média aritmética simples, o que atribui o mesmo peso a todos os dias da semana, o que poderá não ser verdade. Para se poder obter o valor semanal utilizando o OEE diário teria

de se utilizar uma média aritmética ponderada, em que o peso a atribuir a cada dia dependeria do tempo de abertura (ou tempo de produção planeado).

A aplicação da análise de variância ANOVA de um fator está dependente da validação dos pressupostos. A validação foca-se em quatro pontos e segue o seguinte procedimento (Martin e Bridgmon 2012):

1. **Normalidade das populações.** Para verificar este pressuposto, avalia-se o ajuste dos dados à distribuição normal, graficamente e recorrendo ao teste não paramétrico *Kolmogorov-Smirnov*;
2. **Homogeneidade da variância.** Aplica-se o teste de *Levene* que avalia a hipótese de igualdade das variâncias de dois ou mais grupos;
3. **Independência e representatividade.** Admite-se que as amostras obtidas são independentes e representativas das populações de onde provêm;
4. **Erros normais e independentes, com valor esperado nulo e variância constante.** Recorrendo ao gráfico da análise residual é possível validar os pressupostos relativos aos erros:
 - **Histograma.** Permite verificar a simetria dos resíduos e a existência de *outliers*;
 - **Normal probability plot.** Evidencia o ajuste dos resíduos à distribuição normal;
 - **Versus fits.** Permite validar o pressuposto de variância constante dos erros. Idealmente, os pontos devem distribuir-se aleatoriamente em torno do valor nulo, sem padrões reconhecíveis;
 - **Versus order.** Demonstra a independência dos resíduos. Para que não exista correlação entre os erros, os pontos não devem mostrar tendência ou padrões na sua distribuição. Os pontos devem-se encontrar distribuídos aleatoriamente em torno da linha central.

Validados os pressupostos procede-se com a aplicação do teste ANOVA.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 = \text{Pelo menos um valor esperado não é igual aos restantes}$$

$$\alpha = 5\%$$

A comparação do valor de prova com o nível de significância (α) permite a rejeição ou não da hipótese nula. Em caso de não rejeição o teste é estatisticamente inconclusivo sendo, na prática, plausível admitir a igualdade dos valores esperados. Existindo diferenças, determinam-se os intervalos de confiança de *Tukey* para analisar as diferenças de valores esperados entre todos os pares de categorias.

Este procedimento de validação de pressupostos e aplicação ANOVA de um fator é realizado nas diversas análises ANOVA que surgem ao longo do capítulo.

Para alguns testes estatísticos é benéfico ter uma amostra de dimensões razoáveis. Por exemplo, para efetuar uma análise ANOVA para averiguar possíveis diferenças entre os valores do OEE dos diferentes turnos. Este é um teste às médias pelo que será necessário ter vários registos do indicador. Utilizar o OEE numa base mensal originaria uma amostra demasiado reduzida, pelo que o ideal será utilizar um horizonte temporal semanal ou diário. Como referido, o uso da média aritmética simples com o OEE estaria correto caso os tempos de abertura sejam equiparáveis. Desta forma, para se avaliar a viabilidade do uso do OEE diário, estudaram-se os tempos de abertura diários do conjunto de máquinas de injeção usando uma amostra de 10 semanas completas, sem feriados.

A representação gráfica dos tempos de abertura dos 3 turnos (Figura 9) permite observar que aparenta não existir diferenças entre os valores médios dos turnos.

A correspondente análise ANOVA, detalhada no ANEXO J, permite verificar um *p-value* de 0.913, maior que o nível de significância considerado (0.05) e, portanto, a diferença entre o valor esperado do tempo de abertura de cada turno não é estatisticamente significativa. No entanto, ao proceder à validação dos pressupostos, ANEXO I, constata-se que os pressupostos de normalidade das populações e normalidade dos resíduos são violados, pelo que a aplicação de um método não paramétrico como o teste de *Kruskal-Wallis* seria uma alternativa mais correta, permitindo obter conclusões estatisticamente válidas.

A mesma análise foi efetuada para estudar as diferenças do tempo de abertura ao longo da semana. A Figura 10, sugere a existência de diferenças entre os diferentes dias da semana.

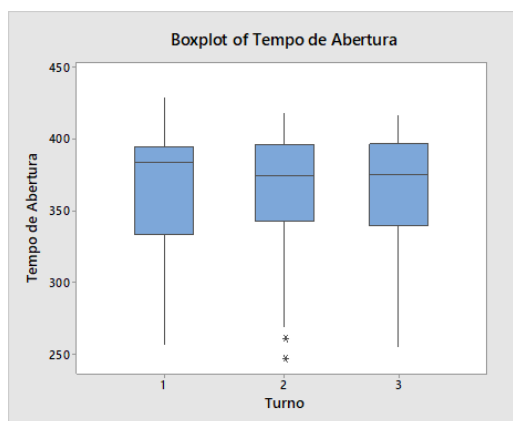


Figura 9 – Boxplot tempo de abertura por turno

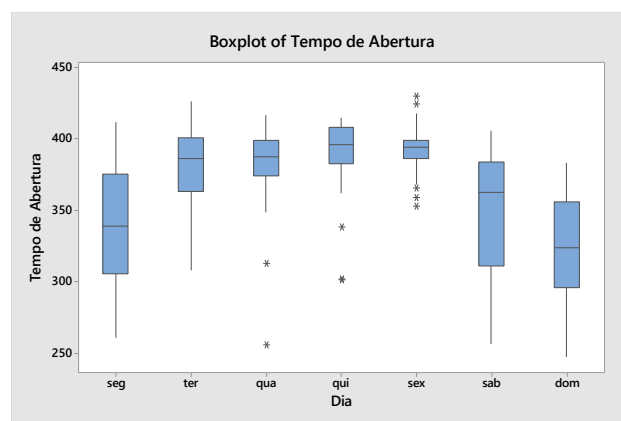


Figura 10 – Boxplot tempo de abertura por dia da semana

Validaram-se os pressupostos, seguindo o mesmo procedimento:

1. **Normalidade das populações.** Constatou-se que quinta-feira é o único dia onde se rejeita a hipótese de normalidade das populações, sendo plausível assumir a normalidade para os restantes dias da semana.
2. **Homogeneidade da variância.** O teste de *Levene* comprova que as variâncias dos diferentes grupos são estatisticamente diferentes.
3. **Independência e representatividade.** Admite-se que as amostras obtidas são independentes e representativas das populações de onde provêm.
4. **Erros normais e independentes, com valor esperado nulo e variância constante.** No gráfico da análise residual observa-se que é plausível assumir a normalidade dos resíduos. Observando o *Versus Fits* valida-se a homogeneidade da variância entre os grupos. No *Versus Order* pode-se assumir que há independência entre os erros.

Realizou-se o teste ANOVA que comprova que as diferenças entre os valores esperados do tempo de abertura dos diferentes dias da semana são estatisticamente significativas. Considerando variâncias diferentes incluiu-se o teste de *Games-Howell* para obter os intervalos de confiança a 95%, de forma semelhante aos intervalos de *Tukey*. Os intervalos (Figura 11) indicam a existência de dois grupos cuja diferença entre valores esperados é estatisticamente significativa, ou seja, segunda, sábado e domingo, diferem dos restantes dias da semana. Esta evidência está de acordo com a realidade das operações, já que no fim de semana existem menos máquinas a trabalhar e ao longo do dia de segunda-feira é quando, normalmente, se efetuam os arranques das máquinas que estiveram paradas.

Ainda relativamente ao tempo de abertura pode ser efetuada uma análise conjunta para estudar as diferenças combinadas dos turnos em cada dia da semana (Figura 12).

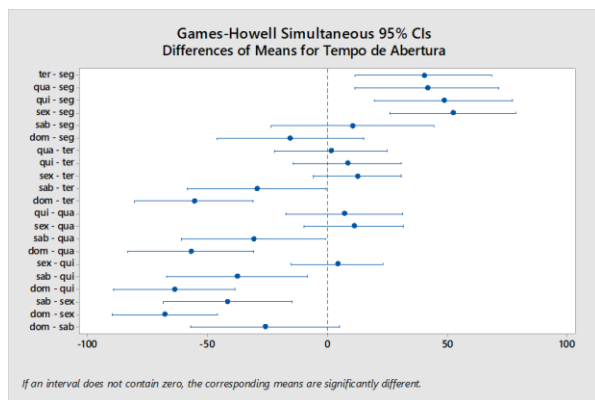
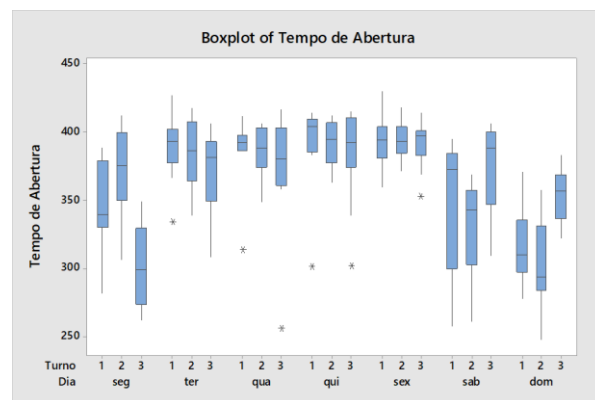
Figura 11 – Intervalos *Games-Howell*

Figura 12 – Boxplot tempo abertura por dia e turno

Relativamente aos pressupostos, a normalidade da população só não é satisfeita no turno 1 de quarta e quinta. O teste de *Levene* permite admitir variâncias iguais ($p\text{-value}=62.4\%$). A análise dos resíduos indica que é plausível admitir que os erros são normais e independentes, com valor esperado nulo e variância constante.

A análise ANOVA indica a existência de diferenças e os intervalos pelo método de *Tukey* assinalam que as diferenças são sobretudo entre os turnos de segunda, sábado e domingo.

Existem diferenças entre os tempos de abertura dos turnos dos diferentes dias da semana, no entanto, o valor médio máximo (sexta, 2º turno) não chega a ser 30% superior ao valor mais baixo (segunda, 3º turno).

Apesar de se ter concluído que as diferenças entre os tempos de abertura dos turnos dos diferentes dias da semana são estatisticamente significativas, para simplificação da análise e interpretação dos valores, ao longo deste capítulo optou-se por utilizar os valores de OEE diários, por turno, sempre que for pertinente atuar sobre uma amostra maior para efeitos de análise estatística.

Evolução mensal do OEE

Usando os dados disponíveis calcularam-se os valores mensais do OEE para o período em análise. Como se pode observar, o gráfico da Figura 13 sugere a existência de uma ligeira tendência crescente nos últimos meses. Contabiliza-se um aumento de 3,9 pontos percentuais (cerca de 6%) do OEE, de janeiro de 2017 a março de 2018, o que significaria em média um aumento de 0,3 pp mensalmente. No entanto a variabilidade é também elevada, cerca de 2,1 pp, o que ajuda a explicar um coeficiente de determinação de apenas 34% do modelo de regressão linear do OEE em função da evolução mensal. O valor deste coeficiente significa que apenas 34% da variação do OEE pode ser explicada pela evolução temporal.

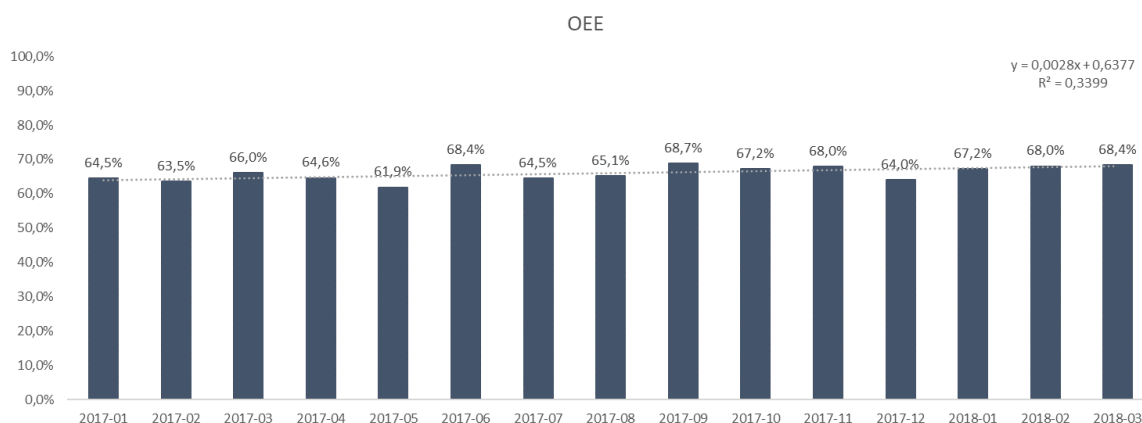


Figura 13 – Evolução mensal do OEE

Na Figura 14 podem-se consultar mais detalhadamente os três principais indicadores que compõem o OEE. Verifica-se que os indicadores que penalizam mais o OEE são a disponibilidade e a performance. A qualidade e a disponibilidade apresentam uma tendência de crescimento praticamente nula, por outro lado a performance aparenta estar a aumentar a uma taxa ligeiramente mais elevada apesar de ser também a métrica com maior variabilidade.

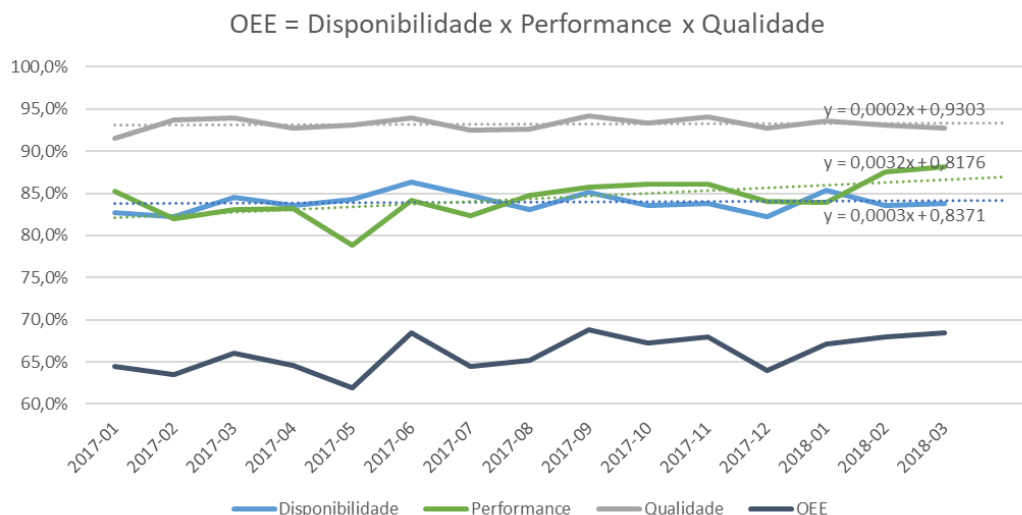


Figura 14 – Evolução mensal dos indicadores

4.2.1 Análise de variáveis

Realizou-se uma análise de correlação para avaliar se existe correlação entre os valores diários dos indicadores de disponibilidade, performance e qualidade. Nesta análise utilizou-se o coeficiente de correlação de *Pearson*, que toma valores entre 1 e -1. Quanto maior o valor absoluto do coeficiente, mais forte a relação entre as variáveis. Um coeficiente de *Pearson* de valor absoluto 1 indica uma correlação linear perfeita, um valor próximo de 0 indica que não existem relações lineares entre as variáveis.

Atentando aos resultados obtidos, Tabela 3, verifica-se que a correlação existente entre os 3 indicadores é muito baixa. A maior relação, apesar de continuar a ser um valor próximo de 0, é entre a disponibilidade e a performance das máquinas. A correlação positiva entre as variáveis indica que ambas tendem a variar na mesma direção. Note-se que os valores de prova são nulos o que significa que, a um nível de significância de 5%, se pode ter confiança no coeficiente calculado. Desta forma devem ser analisados os 3 indicadores separadamente.

Tabela 3 – Correlação de indicadores

Correlação: Disponibilidade; Performance; Qualidade

	Disponibilidade	Performance
Performance	0,158 0,003	
Qualidade	0,040 0,000	0,051 0,001
Cell Contents		
Pearson correlation		
P-Value		

Identificaram-se algumas variáveis que poderão ter influência na disponibilidade, performance ou qualidade, e consequentemente no valor do OEE. Recorreram-se a gráficos *boxplots* para avaliar o impacto destas variáveis no valor dos indicadores. Para comprovar que as diferenças são estatisticamente significativas procederam-se a análises ANOVA, seguindo um

procedimento idêntico às análises já apresentadas. As variáveis identificadas foram as seguintes:

- Mês;
- Dia da semana;
- Turno;
- Máquina;
- Setor;
- Operador;
- Técnico.

Dia da semana

Analisou-se a diferença dos indicadores em função do dia da semana, sumarizada na Tabela 4. A análise incluiu modelos ANOVA e o cálculo de intervalos de *Games-Howell*, porque se verificaram diferenças entre as variâncias durante a validação dos pressupostos. O método de *Games-Howell* (assim como o de *Tukey*) categoriza os dias da semana em grupos. Grupos que não partilhem uma letra são significativamente diferentes entre si. Por exemplo, relativamente ao OEE, segunda-feira e domingo apresentam valores inferiores aos restantes dias da semana.

Contudo, refira-se que, como se verificou anteriormente, ao longo da semana a carga de trabalho é diferente de dia para dia. Também se verifica que na segunda-feira e ao fim de semana, o número de registos é inferior, devido ao número inferior de máquinas a trabalhar. Este desequilíbrio das amostras sugere que se deva analisar os resultados com prudência.

Tabela 4 – Indicadores por dia da semana

Dia da Semana									
		Disponibilidade		Performance		Qualidade		OEE	
Dia	N	Média	GH	Média	GH	Média	GH	Média	GH
seg	7834	82,47%	A	84,29%	A	93,33%	A	65,08%	A
ter	8940	85,89%	B	86,69%	B	93,41%	A	68,41%	B
qua	9032	84,64%	C	85,20%	C	93,35%	A	67,14%	C
qui	9217	83,84%	D	85,01%	C	93,42%	A	66,94%	C
sex	9124	84,35%	CD	85,49%	C	93,35%	A	67,35%	C
sab	8525	83,98%	CD	86,43%	B	93,25%	AB	67,58%	C
dom	6912	83,09%	E	85,62%	C	93,17%	B	65,69%	A

Turno

Uma análise de variância ANOVA, com intervalos de *Tukey*, aos valores de disponibilidade em função do turno permite concluir que o índice do turno 2 é significativamente mais baixo que os restantes. Em termos de performance é o turno 1 que apresenta o pior registo. O índice de qualidade dos três turnos não exibe diferenças estatisticamente significativas. Comprova-se ainda que o OEE é mais baixo no primeiro turno, não havendo diferenças significativas entre os valores do segundo e terceiro turnos, como se observa na Tabela 5. Assim, como o turno mais crítico em termos de desempenho é o turno 1, a optar por um turno piloto, será o primeiro.

Tabela 5 – Indicadores por turno

Turno									
		Disponibilidade		Performance		Qualidade		OEE	
Turno	N	Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey
1	20751	84,47%	A	82,95%	A	93,50%	A	65,92%	A
2	19876	82,72%	B	86,69%	B	93,41%	A	67,89%	B
3	18958	84,61%	A	87,01%	B	93,38%	A	68,19%	B

Máquina

Considerando a variável máquina, apresentam-se no ANEXO K os grupos obtidos para o total das 56 máquinas. Na Tabela 6 apresenta-se um resumo das conclusões, com a avaliação da máquina que apresenta melhor e pior valor para cada indicador.

Tabela 6 – Indicadores por máquina

Indicador	Máquina			
	Pior		Melhor	
	Máquina	Média	Máquina	Média
Disponibilidade	42	78,40%	124	89,74%
Performance	36	76,56%	123	91,18%
Qualidade	52	92,35%	73	95,73%
OEE	36	56,49%	124	76,59%

Para definir e implementar soluções de melhoria é comum, entre as metodologias aplicáveis, a seleção de máquinas piloto nas quais se irão concentrar inicialmente os esforços de melhoria.

Sivaselvam e Gajendran (2014) sugerem diversos critérios para categorizar e ordenar máquinas industriais. Apresentam-se esses critérios e outros que se entenderam como adequados à seleção das máquinas críticas:

- **Índices de desempenho.** A utilização de métricas como o OEE, Disponibilidade, Performance e Qualidade, permitem selecionar a máquina com piores resultados, como se pode verificar na Tabela 6;
- **Número de paragens ou tempo de paragem** (Disponibilidade). Máquinas com mais paragens, com duração média por paragem mais elevada ou cujo tempo acumulado das paragens seja maior têm um grande potencial para aumento da disponibilidade. Este critério também pode ser visto percentualmente, com a razão entre o tempo de paragens e o tempo disponível para produção. Caso se incluam os *setups* neste tempo de paragem, esta razão é mesmo o índice de disponibilidade;
- **Número de mudanças ou tempo de mudança** (Disponibilidade). Os equipamentos com *setups* frequentes podem beneficiar amplamente de soluções que permitam reduzir o número de mudanças e/ou a duração das mesmas. Também as máquinas onde o *setup* é mais complexo, e, portanto, mais demorado, podem ser alvo de melhorias;
- **Tempo de ciclo ou desvio face ao tempo de ciclo teórico** (Performance). Máquinas com elevados tempos de ciclo podem por si só consistir numa opção para a implementação de projetos de melhoria. No entanto, a magnitude do desvio da cadência real em relação à teórica, traduzida no índice de velocidade, que é parte do índice de Performance, é, porventura, um critério mais adequado, principalmente se for usado em conjunto com outros critérios como o tempo de produção, por exemplo;
- **Produção rejeitada** (Qualidade). A escolha das máquinas críticas pode assentar no índice de qualidade que compõe o OEE, destacando os equipamentos com a maior percentagem de não conformes face à produção total. Podem-se ainda observar as quantidades de produção rejeitada em termos absolutos;
- **Tempo ou volume de produção.** Equipamentos que operem durante mais tempo, olhando por exemplo ao número de turnos em que trabalham, devem ter prioridade face aos restantes. Este critério deve ser usado simultaneamente com outros critérios, pois, por exemplo, se a máquina que possui o tempo de mudança mais elevado apresentar um tempo de produção não significativo quando comparado com o das restantes máquinas, irá apresentar um potencial de melhoria reduzido para o desempenho global do setor;
- **Idade dos equipamentos.** Máquinas mais antigas possuem normalmente OEE mais baixo, devido à maior probabilidade de falha. Apresentam-se por isso, como possíveis

candidatas para a implementação de ações de melhoria, sobretudo aquelas ligadas à manutenção;

- **Equipamentos sem alternativa.** Equipamentos que por não terem alternativa se apresentam críticos para o processo produtivo já que a sua paragem afetará todo o processo;
- **Custo de reparação.** Equipamentos com custos de reparação mais elevados podem ter prioridade na implementação de melhorias, especialmente aquelas que afetam a disponibilidade;
- **Sugestão dos funcionários.** Os operadores e principalmente os técnicos, devido à sua experiência e conhecimento específico relativo aos moldes e máquinas de injeção, possuem uma visão privilegiada sobre o estado dos equipamentos. A sua opinião deve ser considerada e usada como complemento a uma análise analítica utilizando os dados recolhidos.

Tendo em conta os critérios de criticidade apresentados, foi selecionada para análise a máquina 36, já que apresenta os valores de OEE e performance mais baixos, além de ser uma das máquinas com maior idade, mas que apresenta uma utilização frequente.

Na Tabela 7 apresenta-se a divisão possível dos índices de disponibilidade e performance com os dados registados. Verifica-se que as avarias e as microparagens têm um grande peso nos indicadores de disponibilidade e performance, respetivamente. Note-se que se consideraram microparagens as paragens inferiores a 6 minutos, como definido anteriormente.

Tabela 7 – Índices máquina 36

Máquina 36			
Disponibilidade		Performance	
79,01%		76,56%	
Setups	Avarias	Microparagens	Velocidade
5,30%	15,69%	19,55%	3,89%

Como a justificação dos motivos de avarias nem sempre é efetuada, e quando o é são utilizadas apenas duas categorias – avaria de molde e avaria de máquina – a solução encontrada passou pela seleção de uma máquina piloto para serem registados manualmente os motivos de paragem, em mais categorias. Novamente a escolha recaiu sobre a máquina 36.

Recorrendo a uma sessão de *brainstorming* com a equipa, composta por membros da injeção, qualidade, manutenção, engenharia e melhoria contínua, recolheram-se diversos motivos para justificar as paragens das máquinas e a rejeição de peças não conformes. Como se observa no ANEXO L, obteve-se uma lista extensa que iria dificultar o registo manual. Assim selecionaram-se apenas os mais relevantes, assinalados a verde, e para esta fase de teste optou-se por não se justificar as causas de não conformidade. Há apenas a distinção entre peças rejeitadas durante a produção e rejeitadas durante o arranque, facilmente identificáveis através da identificação do estado de mudança.

Recolheram-se dados na máquina piloto durante o primeiro turno durante duas semanas. Ainda que a amostra não seja de grandes dimensões, em comparação com a análise anteriormente apresentada na Figura 7 constatou-se que a percentagem de registos por declarar desceu de 75% para cerca de 35%, e como estas foram paragens maioritariamente de alguns segundos, em termos de duração representam menos de 1% do tempo de paragem.

Apresentam-se os dados recolhidos sob a forma de *Pareto* de perdas (Figura 15). Verifica-se que as avarias de molde são as perdas mais significativas, seguidas das avarias de máquina. Estas avarias, normalmente têm duração elevada e requerem a chamada de elementos da manutenção. As mudanças de molde também apresentam perdas com alguma importância. Similarmente as paragens de máquinas, geralmente resolvidas rapidamente e afetando as

microparagens, devido a gito, peças ou material presos no molde são uma categoria com algum destaque.

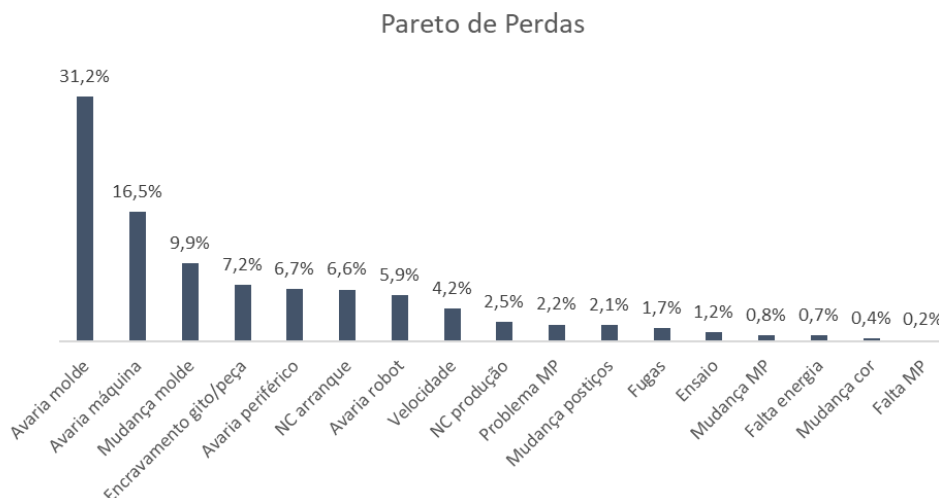


Figura 15 – Pareto de perdas

Recorrendo a um diagrama *Ishikawa* (Figura 16) foram listadas as potenciais causas que podem explicar as avarias das máquinas e moldes de injeção.



Figura 16 – Diagrama *Ishikawa*

Setor

O desempenho que cada setor apresenta depende sobretudo das máquinas que lhe estão alocadas. Ainda assim, para efeitos de seleção de setores críticos que necessitem de prioridade para a aplicação de iniciativas de melhoria, apresentam-se os valores dos indicadores por setor, na Tabela 8. O setor 1 é aquele que aparenta ter um pior desempenho.

Tabela 8 – Indicadores por setor

Setor				
Setor	Disponibilidade	Performance	Qualidade	OEE
1	82,86%	82,51%	93,35%	63,90%
2	84,53%	85,93%	93,37%	67,84%
3	85,09%	85,72%	93,43%	68,34%
4	83,61%	84,41%	92,99%	66,03%

Operador

Tendo em conta que as mudanças são realizadas com o auxílio dos operadores, assim como o manuseamento de peças/caixas e a resposta a pequenos alarmes, os indicadores podem depender da equipa de operadores que está no setor nesse dia. Como o sistema não regista informação sobre os operadores, cruzaram-se os registos de paragens e produção com a

informação das escalas de rotatividades dos operadores, Tabela 9, e da mesma forma com as escalas das equipas de técnicos, Tabela 10.

Tabela 9 – Rotatividade dos operadores

Rotatividade Operadores	
Turno	Dias
1T	4
Folga	1
3T	3
Folga	1
1T	3
Folga	1
3T	4
Folga	1
2T	7
Folga	3

Tabela 10 – Rotatividade dos técnicos

Rotatividade Técnicos	
Turno	Dias
1T	5
Folga	1
2T	5
Folga	1
3T	5
Folga	1
1T	3
Folga	3
2T	3
Folga	1

Apresenta-se na Tabela 11, o resultado da análise para as equipas de operadores. Verifica-se que a equipa D é a que apresenta menor OEE, sendo estatisticamente significativa a diferença de 2,5 pontos percentuais face à equipa com melhor desempenho, a equipa A. Assim, a equipa de operadores D é prioritária em termos de aplicação de melhorias.

Tabela 11 – Indicadores por equipa de operadores

Operador									
Equipa	N	Disponibilidade		Performance		Qualidade		OEE	
		Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey
A	14973	86,04%	A	85,52%	A	92,98%	A	68,54%	A
B	14514	85,72%	A	84,03%	B	93,48%	A	67,13%	B
C	14973	83,98%	B	85,62%	A	93,54%	A	66,82%	B
D	15125	83,59%	B	84,90%	A	93,02%	A	65,99%	C

Técnico

Também os técnicos, responsáveis pelas mudanças, parametrização das máquinas e resolução de alarmes podem influenciar todos os indicadores. As equipas de técnicos são compostas por dois técnicos.

Como se verifica na Tabela 12, a equipa W é a que se destaca negativamente no valor do OEE, pois apresenta os piores valores de disponibilidade e performance.

Tabela 12 – Indicadores por equipa de técnicos

Técnico									
Equipa	N	Disponibilidade		Performance		Qualidade		OEE	
		Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey	Média	Tukey
W	14831	83,52%	A	83,81%	A	93,87%	A	65,68%	A
X	14694	86,02%	B	85,60%	B	93,57%	AB	68,82%	B
Y	15045	84,71%	C	84,23%	A	93,32%	AB	66,17%	C
Z	15015	85,72%	B	86,73%	C	92,85%	B	69,01%	B

5 Desenho e implementação de soluções

Neste capítulo são apresentadas as soluções propostas e o respetivo impacto nos indicadores de desempenho do setor da injeção. É descrita a aplicação da metodologia SMED e são expostas as propostas de melhoria relacionadas com o processo de parametrização das máquinas de injeção e com os métodos de separação, procurando atuar sobre causas-raiz dos problemas identificados no capítulo anterior.

5.1 SMED

Single Minute Exchange of Die (SMED) é um método iniciado na *Mitsubishi*, e mais tarde desenvolvido no grupo *Toyota*, que tem como definição original a realização de mudanças de ferramenta em menos de 10 minutos. SMED é uma metodologia de análise e melhoria do tempo despendido nas mudanças de série de fabrico (ou tempo de *setup*) aplicável a qualquer tipo de indústria ou atividade (Dillon e Shingo 1985).

A aplicação do SMED deve ser realizada por equipas multidisciplinares que envolvam os operadores, técnicos, responsáveis de produção, manutenção e, quando necessário, envolver o suporte de outras áreas como qualidade, engenharia ou I&D.

Primeiramente, como em todas as iniciativas de melhoria, é necessário medir o que se pretende melhorar. Para medir corretamente o tempo de mudança há que compreender a sua definição.

Como se identificou, nas mudanças da área de injeção nem sempre o tempo de mudança registado está de acordo com a definição correta de *setup* – tempo decorrido entre:

- A última unidade conforme da série anterior produzida com a eficiência requerida e;
- A primeira unidade conforme da nova série produzida com a eficiência requerida.

Para garantir o registo correto dos tempos de mudança das máquinas de injeção foi elaborada uma norma de registo de mudança (Figura 17) comunicada a todos os técnicos e afixada no quadro que serve de apoio às reuniões diárias de operações (*Kaizen Diário*).

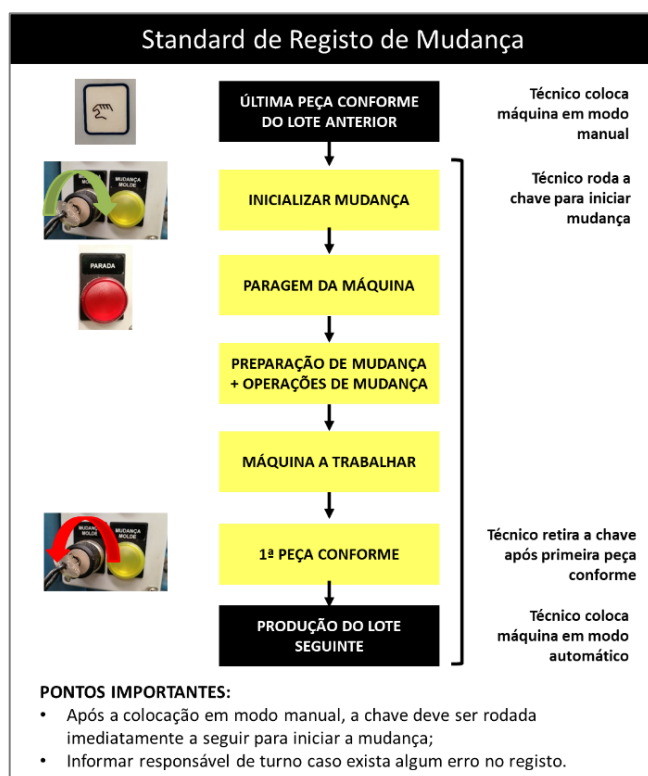


Figura 17 – Standard de registo de mudança

Ao reduzir os tempos de mudança de série o SMED apresenta dois principais benefícios:

- **Aumento do tempo disponível para produção.** Reduzindo a duração das mudanças aumenta-se a utilização da capacidade produtiva das máquinas, a eficácia, reduzindo a necessidade de investimento para aumento da produção;
- **Redução do tamanho de lote.** Torna-se possível realizar mais mudanças de série, reduzindo os stocks e permitindo melhorar o nível de serviço ao cliente, através da diminuição do lead time (prazos de entrega) e do aumento da qualidade.

A empresa em estudo tem experienciado um aumento do seu volume de negócios devido à tendência crescente da procura. Desta forma, os ganhos da aplicação do método SMED serão contabilizados em termos de aumento do tempo disponível para produção, o que se traduz num aumento do OEE das máquinas, por via do aumento do índice de disponibilidade.

Como boa prática, esta metodologia normalmente inicia-se numa área ou máquina piloto, sendo que, após a avaliação dos resultados, se desmultiplicam as ações implementadas para as restantes áreas ou máquinas. Assim, selecionou-se uma máquina automática de injeção para iniciar a aplicação do SMED. Recorrendo aos critérios apresentados no capítulo anterior selecionou-se a máquina que apresenta a maior duração total de mudanças.

Devem ser tipificados os diversos tipos de *setup*. Como já referido, nas máquinas de injeção as mudanças de série podem envolver uma ou várias das seguintes categorias:

- Mudança de molde;
- Mudança de postigo;
- Mudança de matéria prima;
- Mudança de cor (pigmento);

O SMED será aplicado a todas as mudanças que incluem mudança de molde, pois esta é mais frequente e integra as tarefas mais complexas e de maior duração. No entanto um dos problemas já identificados é o facto de o registo dos tempos de mudança não serem categorizados, estando todas as tipologias identificadas como “Mudança”. Para se conseguirem utilizar os tempos registados, cruzaram-se os dados registados no sistema informático com o histórico do plano de mudanças, entregue diariamente aos técnicos, que descreve as mudanças de molde.

Como método estruturado de melhoria, o SMED é aplicado numa sequência de 5 passos:

1. Estudo do trabalho;
2. Separar trabalho interno do trabalho externo;
 - a. Tarefas internas só podem ser realizadas com o equipamento parado;
 - b. Tarefas externas podem ser realizadas com o equipamento a funcionar;
3. Transformar trabalho interno em trabalho externo;
4. Reduzir trabalho interno;
5. Reduzir trabalho externo.

Após a aplicação destes passos para a máquina piloto, as alterações ao modo operativo devem ser desdobradas para as restantes máquinas. É fundamental que os ganhos obtidos sejam mantidos, as novas práticas devem ser normalizadas e é imprescindível que se estabeleça um plano de acompanhamento para sustentar o novo *standard* de mudança.

Após a seleção da máquina piloto, recorrendo aos dados de janeiro a março calculou-se a duração média atual para as mudanças de molde do setor da injeção e para as mudanças que ocorrem na máquina piloto.

Tendo este dado presente, definiu-se o objetivo em conjunto com a equipa multidisciplinar do *workshop* de SMED, que inclui o responsável, chefes de equipa, técnicos e operadores da área da injeção, e ainda técnicos da manutenção, engenharia e melhoria contínua. Atendendo à experiência dos envolvidos, estabeleceu-se o objetivo de reduzir o tempo de mudança em 40%.

Esta melhoria representaria um impacto de 1,9 pontos percentuais no índice de disponibilidade, o que se traduz num aumento de 1,5 pontos percentuais no OEE.

A aplicação do SMED iniciou-se com a filmagem da mudança, incluindo as operações de preparação, nas perspetivas do técnico e do operador. Recorrendo ao vídeo, em equipa, mapearam-se as tarefas dos dois intervenientes, contabilizando a duração de cada tarefa e a sua classificação em interna ou externa, como se pode consultar no ANEXO M. Listaram-se também as ferramentas necessárias em cada operação e efetuou-se o diagrama *Spaghetti*⁴ para ambos os participantes. Simultaneamente foram listadas algumas oportunidades e desperdícios que ocorrem em cada tarefa, o que conclui a primeira etapa da metodologia.

O passo seguinte consistiu em redefinir a sequência de trabalho de forma a separar as tarefas internas das externas para que se minimize o tempo de paragem da máquina, seguindo a seguinte lógica:

1. Trabalho externo a ser feito antes da paragem da máquina;
2. Trabalho interno (que só pode ser feito com a máquina parada);
3. Trabalho externo a ser feito após o arranque da máquina.

Aqui foi possível reorganizar algumas tarefas de preparação e arrumação externas, essencialmente de ferramentas e periféricos (Figura 18) que poderiam ser efetuadas antes de se desligar a máquina, originando uma ligeira diminuição do tempo de máquina parada, sem qualquer investimento.

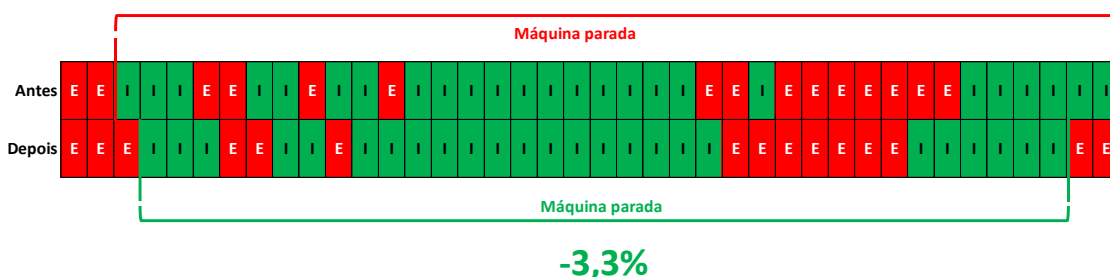


Figura 18 – Redefinição da sequência de trabalho (Técnico)

Na etapa 3 avaliou-se a possibilidade de transformar tarefas internas em externas com alterações nos métodos de trabalho ou equipamentos. Destaca-se a possibilidade da troca de postigo ser considerada tarefa externa sempre que é efetuada em conjunto com a mudança molde, como acontece na mudança que se estudou. Isto é, o molde que vai entrar em máquina pode entrar com o postigo previamente montado. Do mesmo modo, o molde que vai sair, caso no seu interior possua montado um postigo que tenha de ser removido, essa operação poderá ser efetuada fora da máquina. Acontece que, quando fora da máquina, os moldes encontram-se fechados, sendo necessário aplicar uma força significativa para os abrir e poder montar ou desmontar postigos ou realizar algumas operações no seu interior como limpeza ou manutenção. A oficina de moldes possui prensas capazes de abrir os moldes, pois só assim consegue aceder ao interior do molde, no entanto, seria vantajoso investir numa prensa móvel para que estas operações, atualmente realizadas com a máquina parada, pudessem ser realizadas junto à máquina como tarefas externas.

Outra questão avaliada foi o pré-aquecimento dos moldes, esta operação nem sempre é realizada, já que, por vezes, o tempo de duração da mudança com a máquina parada é suficiente para que o molde atinja, ou no mínimo se aproxime, da temperatura necessária. Não existe sequer uma regra que indique em situações e como deve ser executada esta tarefa. Considerando

⁴ Representação visual da movimentação do operador/técnico para auxiliar a identificação de desperdícios de movimentação, transporte e espera.

que se pretende reduzir a duração das mudanças, será imprescindível a realização do pré-aquecimento, que se enquadrará como tarefa externa.

As tarefas internas foram analisadas de forma a identificar melhorias que permitam reduzir ou eliminar trabalho interno, o quarto passo do SMED.

Identificaram-se oportunidades relacionadas com ligações e apertos rápidos, já que os atuais apertos manuais exigem um esforço físico considerável aos operadores. Identificou-se também a necessidade de rever a quantidade de ferramentas necessárias e o *standard* de arrumação, para que, como ocorreu na mudança observada com uma pistola pneumática, não seja gasto tempo a procurar as ferramentas adequadas.

Atente-se que a mudança é realizada por duas pessoas, pelo que a alocação das tarefas foi também um ponto analisado. Estudou-se qual a divisão de tarefas que minimiza o tempo de paragem da máquina, tendo-se definido pequenas alterações ao estado atual.

A ocorrência de erros devido a ligações incorretas também foi considerada. A solução pensada, foi a utilização de códigos de cores nas ligações das fichas e torneiras para minimizar a ocorrência de erros através de uma gestão visual eficaz.

Constatou-se que as operações de calibração e ajuste da posição do molde na máquina apresentam uma duração considerável e muito variável, pois é realizada por tentativa e erro. Uma das soluções encontradas foi a colocação de um pino de centragem em todos os moldes para facilitar o encaixe na posição correta. Foi sugerida a aplicação de um sistema de encaixe automático com pratos magnéticos ou a utilização de um patim para guiar o encaixe do molde.

As operações que exigem a utilização da ponte para movimentar o molde ocupam uma grande porção do tempo de duração da mudança. De forma a minimizar o uso da ponte, enquanto a máquina se encontra parada, foi idealizada uma solução que envolve a colocação antecipada do molde ao lado da máquina onde ocorrerá a mudança. A posição lateral onde se irá colocar o molde deverá estar perfeitamente alinhada como a posição de entrada na máquina, limitando a utilização da ponte a apenas dois eixos: deslocação perpendicular à entrada na máquina e deslocação vertical. Esta solução cria uma tarefa externa de preparação de moldes que deverá ser realizada com antecedência e em momentos em que a ponte não esteja a ser usada para outras mudanças. Em máquinas cujos moldes são de dimensão mais reduzida, esta posição de preparação poderá ser mesmo numa estante localizada em cima da máquina de injeção, agilizando ainda mais o uso da ponte.

Ainda na utilização da ponte, foi pensada uma solução para facilitar o alinhamento da ponte que passaria pela marcação nos carris das posições onde a ponte deve ser colocada de maneira a estar corretamente alinhada com a máquina de injeção (Figura 19).

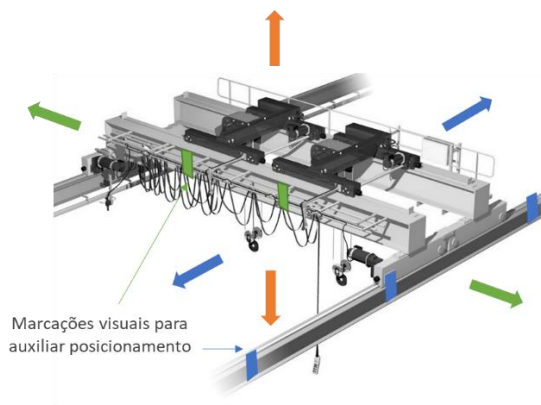


Figura 19 – Ponte móvel

Esta melhoria no ajuste da ponte facilita o seu manuseamento em operações internas, estando a máquina parada, mas também durante a preparação de moldes, tarefa externa. Reduzir ou

eliminar trabalho externo é a quinta etapa do SMED. Apesar de não afetar o tempo de paragem de máquina, o trabalho externo consome recursos e deve, por isso, ser melhorado.

Todas as melhorias identificadas foram avaliadas em termos do seu custo de implementação e do benefício económico gerado anualmente, calculado através da valorização do aumento provocado no OEE devido aos minutos de máquina ganhos por cada mudança. Para todas as soluções foi cálculo do ROI⁵, ao fim de um ano, e o *Payback Period*⁶ para poder avaliar as potenciais melhorias que surgiram. Além destas duas dimensões, custo e ganho, também se refletiu sobre o tempo de implementação que cada iniciativa exigia, o esquema de avaliação pode ser consultado no ANEXO N.

Atendendo à curta duração do projeto foram selecionadas as ações de menor custo e com duração de implementação inferior a um mês para serem implementadas no imediato (Figura 20). Destaca-se a preparação dos moldes com posicionamento na lateral da máquina, num local perfeitamente alinhado com a posição de entrada em máquina, reduzindo os movimentos com a ponte. Simultaneamente foram marcadas posições nos carris da ponte para auxiliar o seu correto posicionamento. Foi revista a distribuição de tarefas para balancear o trabalho dos operadores e evitar tempos de espera. Na máquina piloto, observou-se que a aplicação destas soluções originou uma redução do tempo de mudança em cerca de 26%, um valor inferior aos 40% que se definiu como objetivo. No entanto, refira-se que apesar de não serem já implementadas algumas soluções com um custo e tempo de implementação superiores, estão a ser estudadas para aplicação futura, e permitirão ultrapassar o valor objetivo, caso a implementação ocorra com sucesso.

SMED			
Melhoria	Benefício Previsto	Estado	Benefício Real
Posição lateral de entrada/saída ²	12%	Implementado Máq. Piloto	26% Máq. Piloto
Reorganização das tarefas	4%	Implementado Máq. Piloto	
Pré-aquecimento	3%	Implementado Máq. Piloto	
Rebalanceamento de tarefas	3%	Implementado Máq. Piloto	
Normalização de posições na ponte	2%	Implementado Máq. Piloto	
Estante junto à máquina ²	13%	Em Implementação	
Patim para guiar molde ¹	17%	Em análise	
Prensa para abertura moldes no exterior	16%	Em análise	
Pratos móveis magnéticos ¹	11%	Em análise	
Pino de centragem ¹	6%	Em análise	
Normalização de espessuras molde	5%	Em análise	
Apertos fáceis	2%	Em análise	
Parametrização automática de periféricos	1%	Em análise	

^{1,2} Melhorias mutuamente exclusivas

Figura 20 – Melhorias SMED

A fase seguinte do SMED consiste na normalização do método de trabalho melhorado e o treino dos operadores. Elaborou-se o *standard* de mudança, onde se inclui a sequência operatória estabelecida na máquina piloto, com os respetivos responsáveis, a duração prevista e as ferramentas necessárias. Criou-se uma *checklist* com as macro tarefas a executar em cada mudança de molde, tendo tido o cuidado de tornar esta lista o mais visual possível para facilitar a compreensão por parte dos executantes. Estes documentos serviram de base para o treino dos operadores e técnicos no novo procedimento. Foi criado um plano de treino para garantir o treino de todos os envolvidos na operação de mudança.

⁵ *Return on Investment* – mede o retorno potencial sobre ao investimento realizado.

⁶ *Payback Period* – indica o período de tempo necessário para recuperar o valor investido.

Estabeleceu-se também o plano de desdobramento para as restantes máquinas. Visto que as soluções selecionadas para esta fase são, sobretudo, relacionadas com a organização e preparação de tarefas, não exigindo a alteração de moldes ou máquinas, este desdobramento foi já iniciado. Em relação à melhoria de posicionar o molde antecipadamente, em algumas máquinas, está a ser implementada a criação de uma estante no topo da máquina, uma solução ainda mais vantajosa do que a posição lateral no solo.

Por fim, para garantir que o novo *standard* é cumprido de forma sustentada, desenvolveu-se um plano de auditorias a serem realizadas pelo responsável da injeção e chefes de equipa com o auxílio do departamento de melhoria contínua. Estabeleceu-se de forma objetiva os pontos que se pretendem avaliar e como os avaliar, no ANEXO N pode ser consultado um exemplo de auditoria a mudança.

As soluções que possuem um custo mais elevado ou uma maior complexidade de implementação estão a ser analisadas. Numa fase seguinte, após a seleção de novas melhorias e consequente implementação, o procedimento deverá ser revisto.

5.2 Guias de Funcionamento de Molde

A parametrização das máquinas é uma tarefa que o técnico de injeção tem de realizar para poder inicializar a produção. Como identificado no diagrama *Ishikawa* da Figura 16, os erros de parametrização são uma causa relevante das paragens por avaria. Os parâmetros inseridos dependem da geometria do molde e das peças, das propriedades da matéria prima injetada e das características da própria máquina automática. Atualmente, a unidade fabril analisada possui uma biblioteca de documentos impressos onde estão registados os parâmetros para todos os moldes e em cada máquina onde podem trabalhar. Estes documentos são denominados Guias de Funcionamento de Molde (GFM).

As máquinas de injeção têm ainda a capacidade de armazenar na sua memória alguns programas, compostos pelos parâmetros incluídos no GFM, o que elimina a necessidade de inserir manualmente todos os parâmetros cada vez que se inicia uma produção.

A existência dos GFM's serve o propósito de garantir um processo produtivo estável e repetitivo, com a qualidade e eficiência desejadas, no entanto observa-se que existe um grande número de GFM's desatualizados, obrigando os técnicos a definirem e ajustarem os parâmetros no momento do arranque.

Esta situação tem impacto nos três índices que formam a estrutura do OEE:

- **Avarias.** A inexistência ou desatualização dos parâmetros padrão leva a que ocorram mais alarmes e paragens devido a erros de parametrização. Estas interrupções são sobretudo microparagens, logo diminuem o índice de performance das máquinas, caso a sua duração de prolongue reduzem também o índice de disponibilidade;
- **Mudanças.** O facto de os técnicos terem de testar os parâmetros durante a inicialização das máquinas para garantir a conformidade das peças e a eficiência do processo afeta negativamente os tempos de *setup*, o que também diminui a disponibilidade;
- **Velocidade.** Estando os parâmetros presentes no GFM incorretos, por vezes, os técnicos optam por sacrificar a velocidade da injeção para poderem garantir a qualidade das peças, afetando o índice de performance;
- **Qualidade.** Uma parametrização correta é essencial para garantir a qualidade das peças produzidas, portanto os parâmetros inseridos podem não ser os adequados para garantir que as peças cumprem as especificações de qualidade definidas. A rejeição de peças agrava o índice de qualidade;

Para iniciar o *workshop* de GFM's reuniu-se uma equipa multidisciplinar composta por membros de várias áreas como injeção, qualidade e desenho e desenvolvimento que estão envolvidos na criação, atualização e utilização dos GFM's. Contou-se ainda com o auxílio dos departamentos de informática e melhoria contínua. O propósito do *workshop* foi a redefinição dos processos de criação e atualização de GFM's e consequente implementação das melhorias.

O primeiro passo consistiu em mapear os processos atuais, ANEXO O. Após o fabrico de um novo molde, este é ensaiado na máquina onde irá entrar em produção. No ensaio, participam um técnico do desenho e desenvolvimento, um técnico sénior de injeção e um técnico do controlo de qualidade. É neste ensaio que são testados e estabelecidos os parâmetros de injeção que garantem simultaneamente a qualidade da peça e a cadência desejada, criando-se o GFM. Este GFM terá de ser inserido no sistema de gestão documental informático, e só depois será impresso e arquivado na biblioteca que existe no GEMBA⁷ para poder ser utilizado quando o molde entrar em produção.

Note-se que os parâmetros do GFM dizem respeito à produção de peças usando um dado molde numa dada máquina. Contudo, o mesmo molde, na mesma máquina, pode produzir uma combinação diferente de referências se consideramos as mudanças de posições, do tipo de matéria prima ou cor (pigmento). Assim, um GFM que associa um molde a uma máquina pode ter diferentes versões que contemplam essas diferenças nas peças produzidas.

De seguida mapeou-se o processo de atualização de GFM's, presente no ANEXO O. Existem dois cenários possíveis: poderá ser necessário alterar os valores dos parâmetros de uma versão já criada ou criar uma nova versão devido a entrada do molde numa nova máquina, a partir dos parâmetros de uma versão já existente.

Note-se que quando há alguma alteração física ao molde ou se modificam os tipos de matéria prima ou cor com que o molde trabalha, existe obrigatoriamente um ensaio de molde onde, como se constatou, é criado um GFM com os parâmetros definidos durante o ensaio.

Quer no processo de criação quer no processo de atualização detetaram-se inúmeros desperdícios. O principal diz respeito à triplicação de informação, existindo GFM's em papel e informaticamente em duas bases de dados – uma editável em MS Excel e outra em formato PDF no sistema informático da empresa. Isto obriga a um trabalho administrativo de processamento de dados que não acrescenta valor. Os GFM's são alterados em papel pelos técnicos no terreno, posteriormente são registados informaticamente e convertidos em PDF para que possam ser carregados na base de dados do sistema informático e por fim são impressos e colocados na biblioteca que existe no terreno.

À data do início do *workshop*, em março de 2018, estavam por atualizar cerca de 100 GFM's, isto é, documentos em papel que precisavam de ser inseridos ou alterados informaticamente e depois impressos novamente. O lead time de atualização era excessivo e variável devido à forma como o processo estava definido.

Outro problema observado foi a existência de vários *templates* de GFM's, alguns bastante diferentes entre si, o que dificultava não só a consulta, mas também a atualização dos documentos.

O formato papel apresenta ainda a desvantagem de permitir que GFM's incompletos sejam inseridos no processo, adicionalmente verificou-se que a elegibilidade dos dados era outro problema que ocorria com frequência.

Por fim, uma outra dificuldade que o processo apresentava eram as validações dos dados presentes nos GFM's. A validação por parte de um técnico sénior de todas as alterações é crucial

⁷ Expressão de origem japonesa que significa “lugar onde as coisas acontecem”. Em ambiente industrial refere-se ao chão de fábrica.

pois tratam-se de valores sensíveis que podem não só influenciar a qualidade das peças e eficiência do processo produtivo, mas também originar avarias nas máquinas.

Perante os problemas identificados foi idealizado um processo que permite recorrer a uma base de dados única, sem duplicação de informação, e sempre atualizada. O objetivo passa por garantir que o processo permita a atualização de GFM's em menos de um dia, eliminando assim o *buffer* de GFM's pendentes, isto é, por atualizar.

A solução passa por criar no sistema de informação da empresa uma base de dados customizada onde seja possível consultar, criar e editar diretamente os GFM's. A informação será introduzida uma única vez, tentando minimizar a introdução manual de dados para diminuir a probabilidade de erros.

A solução de software implicou um levantamento de todos os parâmetros necessários e da possibilidade de serem preenchidos automaticamente recorrendo a ligações a outras bases de dados já presentes no sistema, como se pode consultar no ANEXO P. Verificou-se a necessidade de incluir a parametrização dos robots no GFM's, uma lacuna detetada nos modelos de GFM atuais.

Para desenvolver a aplicação, identificaram-se os casos de uso relevantes:

1. Criação/Alteração de GFM em ensaio
 - i. 1º GFM
 - ii. Alteração do molde
 - iii. Variantes de matéria prima/cor
2. Atualização de parâmetros
3. Entrada em nova máquina
4. Desativação de GFM

De seguida, esses casos foram esquematizados de forma visual recorrendo a *mockups*, em parceria com técnicos de informática. Também se envolveram nesta fase de desenvolvimento os técnicos que serão os utilizadores da aplicação. Este processo foi iterativo com diversas fases de validação e teste no terreno. Foi dada especial atenção ao fluxo de aprovação necessário para cada tipo de alteração ou criação, já que a validação dos parâmetros é de capital importância, como mencionado. Na Figura 21 apresenta-se o fluxo de aprovação para o primeiro caso de uso.

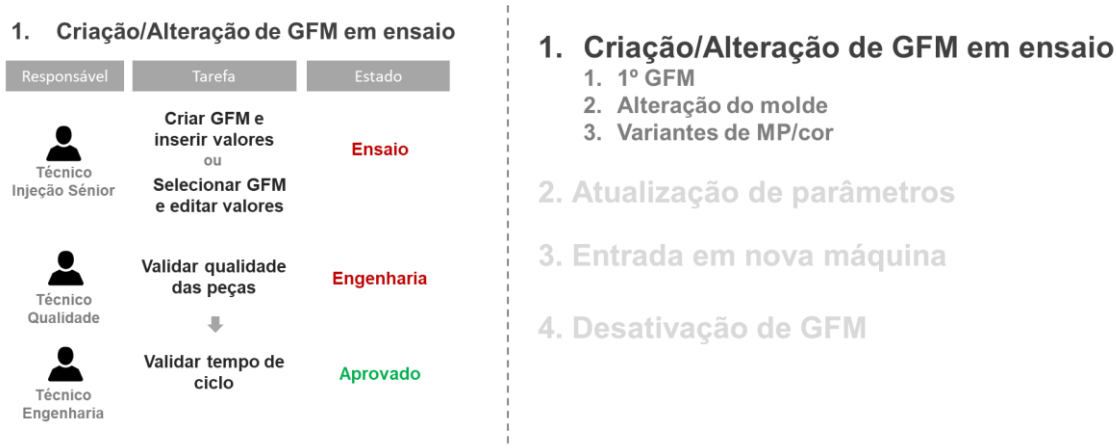


Figura 21 – Fluxo de validação (GFM em ensaio de molde)

De seguida foram analisadas soluções alternativas de hardware já que, ao eliminar os documentos impressos, será necessário adquirir equipamentos para que os técnicos possam consultar e editar a informação presente no sistema. Atendendo a que a informação é necessária no momento de parametrização das máquinas, o uso do computador central de cada setor foi descartado, pois implicava demasiadas deslocações e dificultava a consulta. Assim foram

estudas três opções: computador portátil, *tablet* industrial ou microcomputadores. O computador portátil e o *tablet* seriam transportados pelo técnico no seu carro de ferramentas, já os microcomputadores seriam instalados em cada máquina juntamente com ecrãs para visualizar as interfaces do software. Atendendo ao custo de cada solução e às condições adversas a que os dispositivos iriam estar sujeitos, optou-se por selecionar a solução baseada em *tablets* industriais.

Para comprovar a viabilidade da solução foi efetuado um teste no terreno utilizando um *tablet* industrial e um portátil com uma versão provisória do software. O teste decorreu com sucesso, tendo-se obtido feedback muito positivo do técnico que efetuou a parametrização. O teste serviu também para comprovar que o *tablet* é a solução acertada pois permite que o técnico esteja simultaneamente a interagir com as interfaces da aplicação e da consola da máquina de injeção, algo impossível com o portátil pois exigia que o técnico se deslocasse junto ao carro.

Refira-se que, após a definição da solução, a implementação está prevista terminar em setembro de 2018, pois será necessário desenvolver a aplicação final com todas as funcionalidades e interfaces desejadas, estando a responsabilidade desta tarefa entregue ao departamento de informática. Por outro lado, é preciso carregar na nova base de dados os GFM's existentes atualmente. Note-se que considerando as várias versões existem mais de 2000 documentos, a maioria em formato não editável, pelo que será necessário importar estes GFM's para o sistema, uma tarefa que também já está em curso.

O passo final desta melhoria passará por elaborar as normas e instruções de utilização do software assim como dos procedimentos para uso dos equipamentos, com definição do modo de carregamento das baterias, local de arrumação, entre outros. A partir daí será desenvolvido um plano de treino para todos os técnicos e possíveis utilizadores da aplicação.

5.3 Métodos de separação

O manuseamento de peças e caixas é uma tarefa que exige grande parte do tempo dos operadores. Como foi explicado, o operador tem de percorrer todas as máquinas ativas que lhe estejam atribuídas e, no mínimo, tem de remover as caixas com peças que se encontram à saída da máquina e substituí-las por caixas vazias. Por vezes, dependendo dos moldes e das peças que este produz, o operador tem de passar as peças para caixas de menor dimensão, para que sejam abastecidas aos bordos de linha das células de montagem, empilhar peças nas caixas ou mesmo separar manualmente diferentes referências que são injetadas em simultâneo.

A maior ou menor exigência que cada molde apresenta para que o operador execute estas tarefas de manuseamento depende da autonomia garantida pelas soluções de separação de peças instaladas. Neste contexto, entende-se por autonomia o tempo que uma máquina pode estar a produzir continuamente sem que seja necessário a intervenção do operador, para substituir caixas vazias, separar e/ou empilhar peças, entre outras tarefas de manuseamento. No caso de o operador não estar disponível, podem ocorrer diversas situações dependendo do tipo de peça, método de extração, tipologia de caixa, método de separação e outras particularidades associadas a cada referência produzida. Estas ocorrências têm impacto no desempenho do setor da injeção, nomeadamente no OEE, e constituem alguns dos motivos de paragem identificados no *Pareto* da Figura 15:

- **Encravamento do molde.** No caso mais comum as peças são extraídas do molde e, por ação da gravidade, deslocam-se ao longo de uma rampa em direção às caixas posicionadas no final. Caso o operador não substitua as caixas com a frequência necessária, as peças acumulam ao longo da rampa podendo mesmo chegar à zona central do molde, provocando o encravamento do mesmo. Ainda que estas paragens sejam maioritariamente fáceis de resolver, afetando as microparagens, já se registaram situações de danos que levaram a um tempo de paragem mais alargado;

- **Paragem do robot.** Numa situação semelhante à anterior, caso a extração seja efetuada por robot, a acumulação de peças na caixa, gaiola ou tapete onde o robot larga a peça pode originar paragem, caso existam obstáculos ao curso do robot. Também estas paragens são facilmente resolvidas, portanto, a não ser que hajam atrasos na resposta aos alarmes, aumentam as microparagens;
- **Rejeição de peças.** Por vezes, o excesso e acumulação de peças provoca problemas de qualidade como deformação ou riscos em peças de alto brilho. O facto de o manuseamento ocupar grande parte do tempo dos operadores, leva a que o autocontrolo seja menosprezado, afetando o índice de qualidade, ainda que indiretamente;
- **Interrupção de setup.** Ainda que não seja frequente, constatou-se que, em certos cenários como mudanças de molde consecutivas realizadas pelo mesmo operador, este pode ver-se forçado a interromper a mudança para manusear peças ou caixas nas máquinas mais críticas em termos de autonomia, prejudicando o índice de disponibilidade.

Relativamente ao último ponto, identificou-se que com alguma frequência são planeadas duas mudanças seguidas no mesmo setor, que devem ser asseguradas pelo operador responsável por esse setor. Ao realizar as mudanças o operador não pode efetuar as tarefas de manuseamento, portanto é indispensável que operador efetue uma ronda pelas máquinas mais críticas em termos de autonomia entre cada mudança. Foram até contabilizadas situações em que se planearam três mudanças seguidas, algo facilmente evitável e que prejudica o balanceamento das tarefas operacionais. Assim definiu-se um *standard* que define as regras que definem a divisão de tarefas consoante o sequenciamento das mudanças dos quatro setores (Figura 22).

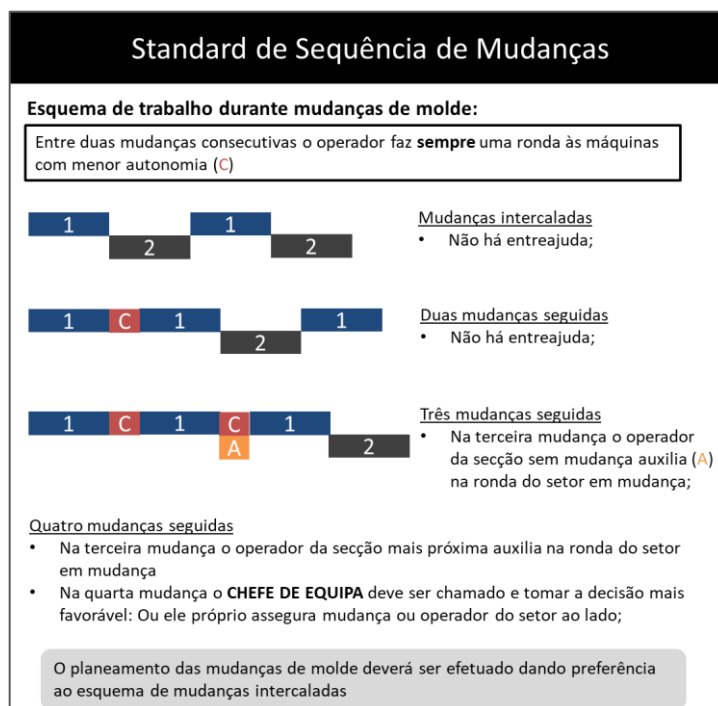


Figura 22 – Standard de sequência de mudanças

Reuniu-se uma equipa multifuncional para se definirem e implementarem melhorias que permitam reduzir a ocorrência e o impacto das situações enumeradas anteriormente.

O desenvolvimento do *workshop* de métodos de separação dividiu-se em duas vertentes:

1. A identificação e atuação sobre os moldes mais críticos em termos de autonomia e/ou de separação de peças;

2. Mapeamento e redefinição do processo de criação de moldes para que a questão da separação e da autonomia seja considerada numa fase preliminar, evitando os elevados custos corretivos que advêm de alterações aos moldes ou investimentos em métodos de separação sofisticados.

A primeira perspetiva iniciou-se com a normalização dos métodos de separação usados para garantir que ao inicializar uma produção é instalado o método de separação adequado. O método deve permitir reduzir o trabalho do operador, isto é, garantir a separação, empilhamento e/ou orientação automática das peças, ao mesmo tempo que maximiza a autonomia e reduz a possibilidade de encravamentos. Para o efeito foram criadas 20 normas visuais, que correspondem às tipologias de métodos de separação usados na empresa como, por exemplo, a utilização de passadeiras com uma ou duas pás para separar peças de diferentes alturas, o uso de uma mão de robot para realizar a extração e separação ou ainda a utilização de um crivo. As instruções visuais criadas são denominadas *One Point Lessons* (OPL's). A cada molde foi atribuída uma OPL de separação que define qual o melhor método de separação para o molde em questão. Na Figura 23 é apresentado um exemplo de OPL implementada.

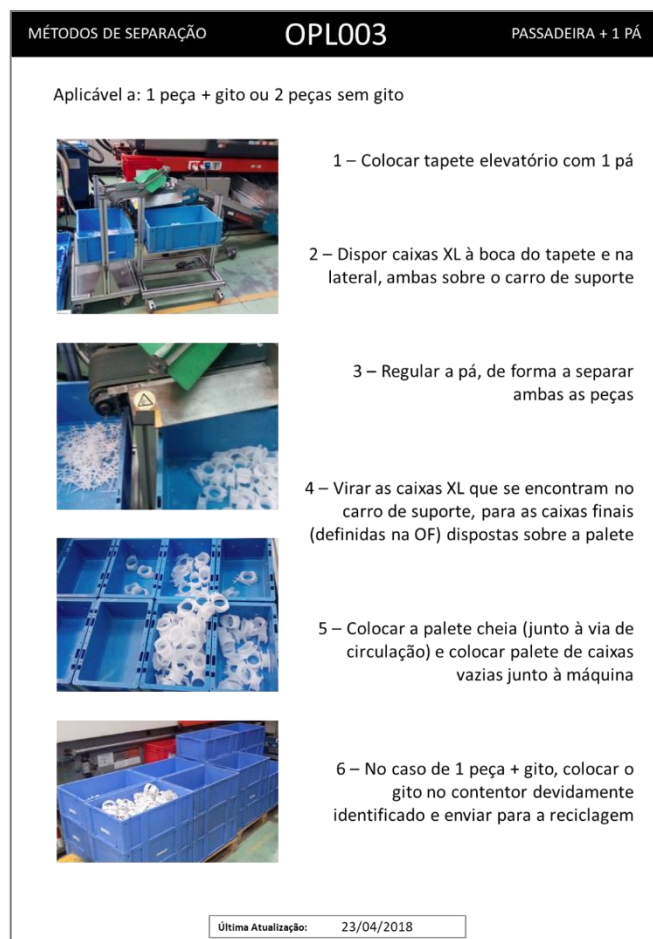


Figura 23 – OPL Método de separação: passadeira com 1 pá

Atendendo a que existem cerca de 700 moldes ativos, foi montado um processo para que sempre que um molde que vai entrar em produção não possua OPL atribuída, o técnico que irá inicializar essa produção atribua uma OPL.

De seguida, e ainda uma lógica corretiva, foi calculada a autonomia. Visto que quando um molde produz diferentes referências no mesmo ciclo de injeção estas acabam em caixas diferentes, a autonomia foi calculada para cada referência através da multiplicação do tempo de ciclo por peça, do número de caixas que se encontram à saída da máquina e da capacidade de cada caixa, equação 5.1. Considerando que o operador efetua, normalmente, uma mudança de

molde de cerca de 25 minutos e que está responsável pelo manuseamento e autocontrolo de no máximo 15 máquinas, estabeleceu-se em 1 hora o valor desejado de autonomia mínima. Assim foi possível destacar os moldes críticos em termos de autonomia.

$$\text{Autonomia} = \text{Tempo de ciclo} \times N^{\circ} \text{ Caixa à saída} \times \text{Capacidade da caixa} \quad (5.1)$$

A identificação dos moldes críticos devido a separação, empilhamento ou orientação ineficaz, que obrigam os operadores a despendar muito tempo em tarefas de manuseamento, é efetuada através de observação no terreno. Foi criada uma sessão de periodicidade semanal, que conta com a presença de representantes da injeção, engenharia, manutenção e melhoria contínua, para identificação de novos moldes críticos, definição de soluções e acompanhamento das ações técnicas propostas.

A segunda parte do *workshop* relaciona-se com o processo de criação de moldes, nomeadamente com a possibilidade de introduzir a preocupação com a questão da separação e autonomia o mais a montante possível, evitando ter de estabelecer medidas corretivas. Juntamente com a equipa, que inclui as áreas do desenho e desenvolvimento, produção de moldes, engenharia, injeção e melhoria contínua, o processo foi mapeado, ANEXO Q. Definiu-se o ponto do processo onde será definido o método de separação, através da atribuição da OPL, e se calculará a autonomia que o novo molde irá garantir. Desta forma, ainda antes de se ter maquinado o molde podem-se fazer as alterações necessárias. Uma ação corretiva muito comum é a modificação da forma ou dimensão do gito para que se consiga separar o mesmo usando as pás das passadeiras. Estas alterações apresentam um custo relativamente elevado pois exigem a maquinação do molde. Antecipando os problemas que poderão ocorrer, estas correções podem ser feitas na fase de desenho e validação do molde, prevenindo a necessidade de medidas corretivas quando o molde já se encontra em produção.

5.4 Principais Resultados

Na Tabela 13 são resumidas as principais soluções de melhoria desenhadas. Para além das soluções que surgiram no âmbito dos três *workshops*, foram implementadas outras melhorias como a definição da cadeia de ajuda (Figura 8) e a elaboração do *standard* para garantir o correto registo das mudanças (Figura 17).

Tabela 13 – Soluções de melhoria

Soluções de Melhoria		
Workshop	Iniciativas	Entregáveis
SMED	Redução do tempo de mudança na máquina piloto	Melhorias implementadas; Normalização do procedimento de mudança
	Desdobramento para restantes máquinas	Plano de desdobramento; Plano de auditorias
Guias de Funcionamento de Molde (GFM)	Novo processo para criação e atualização de GFM	Base de dados única; Solução de software (aplicação) e hardware; Procedimentos normalizados
Métodos de Separação	Medidas corretivas para moldes críticos	Normalização dos métodos de separação (OPL's); Processo para identificação e correção de moldes críticos
	Melhoria do processo de novos moldes	Norma para atribuição de métodos de separação e cálculo de autonomia em novos moldes

Após a implementação das iniciativas apresentadas foram novamente analisados os dados de produção e parâmetros para apurar os resultados obtidos.

A Tabela 14 apresenta a evolução dos indicadores – OEE, Disponibilidade, Performance e Qualidade – durante o período de realização do projeto. Verifica-se que o OEE exibe um aumento de 3,9 pontos percentuais, cerca de 5,7%. Este resultado supera o objetivo fixado nos 3 pontos percentuais para o período em análise.

Tabela 14 – Resultados

Indicadores do setor da injeção					
	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	Variação
Disponibilidade	83,5%	83,8%	84,5%	85,2%	+1,7 pp
Performance	87,5%	87,1%	89,0%	90,8%	+3,3 pp
Qualidade	93,1%	92,7%	93,1%	93,0%	-0,1 pp
OEE	68,0%	68,4%	70,1%	71,9%	+3,9 pp

Ainda que se tenha comprovado, no capítulo 4, que o ajuste da tendência linear aos valores do OEE do último ano apresenta um coeficiente de determinação reduzido, mesmo considerando o aumento mensal de 0,3 pp, os resultados obtidos atingem o objetivo.

Observa-se ainda que a melhoria do OEE se deve primeiramente ao aumento do índice de Performance, através da redução das perdas por microparagens já que as perdas de velocidade permaneceram relativamente constantes. Também ao aumento do índice de Disponibilidade contribuiu para a melhoria do OEE, neste ponto foram as reduções nas mudanças que geraram o maior aumento, ainda que o tempo de avarias também tenha sofrido uma diminuição. O índice de Qualidade permaneceu praticamente constante, sendo que do final de fevereiro, definido como o *baseline*, ao final de maio a variação foi de apenas -0,1 pp, um valor quase nulo.

6 Conclusões e perspetivas de trabalho futuro

A empresa em estudo tem experienciado um forte crescimento nos últimos anos, com um aumento da procura, principalmente de clientes internacionais, o que tem obrigado a elevados investimentos para aumentar a capacidade produtiva de forma a dar resposta ao volume de encomendas. Atualmente, a exigência dos consumidores é cada vez maior, quer em termos de especificações de qualidade quer em termos de prazos de entrega. Tudo isto, aliado ao facto de que para competir no mercado a empresa necessita de apresentar uma oferta mais diversificada, com produtos adaptados a cada mercado, torna ainda mais difícil o cumprimento do nível de serviço desejado, mantendo a eficiência produtiva.

O projeto realizado surgiu da necessidade da empresa rentabilizar o uso da sua capacidade produtiva, nomeadamente das máquinas automáticas de injeção, cuja aquisição (mas também manutenção) representa um investimento muito elevado.

A abordagem proposta consistiu na aplicação da ferramenta OEE não só para analisar o desempenho das máquinas de injeção, mas acima de tudo para auxiliar na definição e seleção de melhorias que permitam o aumento de produtividade desejado. Ao estudar a estrutura de perdas do OEE foi possível estabelecer as áreas onde era prioritário implementar ações de melhoria. Sempre que possível, estas ações foram avaliadas em termos de benefício para o OEE, o que no fim se traduzirá num ganho monetário.

6.1 Principais conclusões

O projeto foi desenvolvido segundo a metodologia DMAIC, um processo de melhoria cíclico.

Define

Na primeira etapa definiu-se o desafio, as razões para a elaboração do projeto e os objetivos.

Verificou-se que o aumento de produtividade das máquinas de injeção, através do aumento do OEE, isto é, mais capacidade de máquina disponível, poderia ter dois resultados:

- **Aumento da flexibilidade.** Ter mais tempo de máquina disponível, devido a menos paragens ou menos peças rejeitadas, permitindo que sejam efetuadas mais mudanças de código, produzindo lotes mais curtos;
- **Aumento da produção.** A redução de perdas permite que as máquinas estejam mais tempo em produção. Assim é possível produzir uma maior quantidade com o mesmo número de máquinas.

Tendo em conta o cenário de crescimento que a empresa atravessava o benefício desejado foi o aumento do volume de produção.

Measure

Na etapa seguinte, foi definida a estrutura de cálculo do OEE e analisou-se o sistema de recolha de dados instalado na empresa. Concluiu-se que a recolha de dados é essencial para a aplicação do OEE, e consequentemente para o desenvolvimento do projeto. O registo de paragens das máquinas da empresa e respetiva duração é efetuado automaticamente. A automatização é uma vantagem importante pois é possível obter dados fiáveis e com elevada precisão. No entanto constatou-se que para obter o nível de detalhe desejado, existem dados que ainda necessitam de ser manualmente recolhidos, como é o caso dos motivos das paragens e das quantidades de não conformes. Apesar de permitir maior detalhe o registo manual está muito mais sujeito ao erro, e mesmo à ausência de registo como se comprovou ao verificar que cerca de 3% do tempo de paragem não era declarado e, por observação no terreno, identificaram-se casos em que não eram registadas as quantidades de peças rejeitadas.

Verificou-se também que o nível de detalhe dos registos não era satisfatório, pois não fazia a distinção dos diferentes tipos de mudança e apenas dividia as paragens por avaria em avarias de máquina ou de molde.

Ainda relativamente ao sistema de registo e cálculo do OEE, constatou-se que usando os valores de velocidade teórica registados no sistema se obtinham valores de índice de performance muito superiores a 100%, pelo que foi necessário redefinir os valores teóricos. Considerando que a empresa produziu desde o início do presente ano mais de 100 referências diferentes optou-se por estabelecer como velocidade teórica ideal, a velocidade mais elevada verificada para cada artigo em cada máquina, ao longo do último ano.

Analyse

A etapa de análise iniciou com um estudo mais detalhado do funcionamento do setor da injeção, composto por 56 máquinas divididas por 4 setores. O conhecimento sobre o funcionamento da área em estudo permitiu encontrar possíveis variáveis que afetam o desempenho das máquinas. Assim procedeu-se a uma análise estatística, usando registos de 2017 e 2018, com o objetivo de selecionar os fatores que afetam significativamente os índices do OEE, através de análises ANOVA e intervalos de *Tukey*.

Verificou-se que o dia da semana com melhor OEE é a terça-feira, com cerca de 68%, por outro lado, ainda que a diferença não seja muito elevada, tanto segunda-feira como domingo apresentam um valor de OEE comprovadamente mais baixo, cerca de 65%. A justificação poderá ser o facto de no domingo e segunda-feira decorrerem os arranques de diversas máquinas paradas ao fim de semana, uma situação que torna estes dias mais suscetíveis a avarias.

Relativamente aos turnos de produção observou-se que o turno 1 (8h-16h) possuía pior OEE, pois apresentava um índice de performance 4 pontos percentuais abaixo dos outros dois turnos, que alcançavam os 87% de performance em média. Atendendo aos resultados, ao implementar as soluções decidiu-se efetuar um acompanhamento mais eficaz durante o primeiro turno.

Uma análise por máquina permitiu definir quais as piores e melhores máquinas para cada indicador. Algumas das soluções aplicadas começam pela seleção de uma máquina piloto que pode obedecer a diversos critérios de criticidades como a idade dos equipamentos, o tempo total de mudança ou o próprio valor dos índices. Relativamente ao OEE a máquina 36 possui o valor médio mais baixo, 56%, sendo também uma das máquinas com mais idade. Ao verificar com mais detalhe as métricas para esta máquina concluiu-se que as avarias e as microparagens são as perdas com maior influência na disponibilidade e performance, respetivamente.

Foi também na máquina 36 que se montou um sistema para registo dos motivos de paragem, de forma a obter informação com mais detalhe para poder construir um *Pareto* de perdas. Avarias de molde continua a ser a perda com mais impacto, seguida das avarias de máquina. As mudanças que representam uma maior percentagem são as mudanças de molde. Também os encravamentos das peças ou gito surgem como um efeito com alguma expressão.

Identificados os efeitos, foi necessário encontrar as causas-raiz. Em sessões de *brainstorming* e observações no terreno identificaram-se algumas causas, esquematizadas num diagrama espinha-de-peixe ou *Ishikawa*.

Improve

Concluída a análise seguiu-se a etapa de melhoria. Atendendo aos valores calculados durante a análise, ao *Pareto* de perdas e às causas identificadas, foram selecionadas três áreas de ataque: mudanças de molde (SMED), parametrização das máquinas e métodos de separação. As melhorias para estas três áreas foram desenvolvidas em ambiente de *workshop*, isto é, em dinâmicas de grupo de caráter prático.

SMED

Para reduzir os tempos de mudança de molde foi aplicada a metodologia SMED. Inicialmente selecionou-se como máquina piloto aquela que apresentava a maior duração total de mudanças. A aplicação do SMED ocorreu segundo a sequência dos 5 passos. Todas as melhorias identificadas foram avaliadas numa lógica de custo-benefício, considerando ainda a complexidade e o tempo de implementação. Foram implementadas as melhores soluções, de custo reduzido e aplicáveis até à data prevista para fecho do projeto: posição lateral de entrada/saída, reorganização das tarefas, pré-aquecimento de moldes, rebalanceamento de tarefas e normalização de posições na ponte.

A implementação destas melhorias permitiu reduzir em 26% o tempo de mudança na máquina piloto. Note-se que se estabeleceu como objetivo deste *workshop* uma redução de 40%, com impacto de 1,5 pp no OEE. Porém, estão a ser analisadas soluções mais disruptivas, previstas para uma fase seguinte, que apresentam uma maior redução, mas também um maior custo. Após o teste na máquina piloto, as soluções foram validadas e iniciou-se o desdobramento para as restantes máquinas, que começou com a normalização do novo procedimento de mudança.

Guias de Funcionamento de Molde

Um problema identificado durante a análise foi a ocorrência de erros de parametrização das máquinas, que originam encravamentos ou avarias. Examinando as possíveis causas verificou-se que os documentos que contêm os valores padrão dos parâmetros, denominados Guias de Funcionamento de Molde (GFM's), não estão atualizados pois o processo existente para os atualizar é pouco eficaz. Quando se iniciou o *workshop* de GFM's estavam pendentes de atualização mais de 100 GFM's.

A solução definida visou a simplificação do processo de criação e de atualização dos documentos, sem descurar o fluxo de validação necessário para garantir que os parâmetros registados são adequados. Desenhou-se uma aplicação que servirá de base ao processo, eliminando assim o desperdício de possuir várias bases de dados, em papel e informaticamente, como estava implementado. Esta solução de software será acompanhada por uma solução de hardware, *tablets* industriais, para que os técnicos acedam à aplicação estando no terreno junto à máquina. Apesar de esta solução estar ainda em fase de implementação, os testes realizados permitiram concluir que, mesmo quando é necessária uma validação, a atualização dos parâmetros será concluída em menos de 24h, isto é, dentro do objetivo estipulado.

Métodos de separação

Por fim, foram estudados os métodos de separação e a sua autonomia, pois são fatores que influenciam os encravamentos de peças ou gito, paragens de robot e até defeitos de qualidade. Para além disso os métodos de separação ineficazes ou com pouca autonomia aumentam a carga de trabalho do operador, que fica com menos tempo para dedicar a outras tarefas.

Inicialmente normalizaram-se os métodos de separação através de *One Point Lesson* (OPL's) para garantir que ao inicializar uma produção era instalado o método de separação adequado. Permitindo assim reduzir o trabalho do operador, maximizar a autonomia e reduzir a possibilidade de paragens.

Foi percebida a necessidade de encontrar soluções para alguns moldes críticos pois o método de separação era ineficaz, obrigando o operador a separar e/ou empilhar manualmente, ou devido à baixa autonomia, o que obriga a que o operador faça visitas à máquina com elevada frequência. Foi elaborado um procedimento para identificar moldes críticos, definir e acompanhar as soluções técnicas, através de sessões semanais realizadas por uma equipa multidisciplinar. Até junho de 2018 foram identificados 12 moldes críticos devido a separação ineficaz e 7 devido a baixa autonomia, sendo que já se solucionaram os problemas de 5 moldes.

Para além das medidas corretivas, era importante que os novos moldes adquiridos não apresentassem problemas de separação e/ou autonomia cuja correção implicaria um custo desnecessário. Desta forma, redefiniu-se o processo de criação de novas peças e respetivo molde para que a definição do método de separação e cálculo da autonomia fossem efetuados antes da maquinação do molde, permitindo efetuar correções ainda numa fase de desenho.

Control

Na etapa final do DMAIC avaliaram-se os resultados. O OEE do setor da injeção durante o período de realização do projeto, de fevereiro a junho, apresentou um aumento de 3,9 pontos percentuais, situando-se agora nos 72%. Assim, com as soluções implementadas superou-se o objetivo definido de 3 pp. Este aumento deve-se à melhoria do índice de Performance e do índice de Disponibilidade, sendo que o índice de Qualidade permaneceu praticamente constante.

Para assegurar a normalização os processos documentaram-se as melhorias, elaborando normas dos procedimentos e processos implementados. Para algumas soluções estabeleceram-se planos de acompanhamento, recorrendo a auditorias para garantir a sustentação dos ganhos obtidos.

De forma global, foi validada a utilidade do uso da estrutura de perdas do OEE como ponto de partida para a definição de melhorias que visam o aumento da produtividade, principalmente, quando a aplicação desta ferramenta é sistematizada através de uma metodologia de melhoria como o DMAIC.

6.2 Perspetivas de trabalho futuro

Como se verificou a existência de dados é fundamental para a aplicação do OEE. Na empresa em questão identificaram-se problemas relativamente ao nível de detalhe e fiabilidade dos registos manuais de motivos de paragens e não conformidades. Para obter os dados necessários foi proposto e testado um sistema de registo numa máquina piloto. A melhoria desse sistema de registo e a implementação a todo o setor poderá ser uma componente a tratar no futuro.

No capítulo da análise verificou-se que os principais motivos de paragem são avarias de molde, seguidos das avarias de máquina. Certamente será proveitoso atuar sobre estas avarias através da implementação de metodologias de manutenção planeada e manutenção autónoma, aumentando a fiabilidade e, consequentemente, a disponibilidade das máquinas.

O planeamento é outra área que poderá ser alvo de melhorias. A maximização da utilização da capacidade produtiva, através do aumento do OEE, é o resultado desejado do presente projeto. Porém, relativamente ao planeamento será mais adequado utilizar o indicador TEEP ou OOE, pois o OEE só avalia o cumprimento do plano de produção face ao tempo planeado para produzir, não contemplando a forma como esse tempo é definido. Calculando o TEEP para o setor da injeção para o mês de maio, isto é, considerando que o tempo de abertura são 24h durante 31 dias, obtém-se um valor de cerca de 60%. Este valor traduz-se num fator de utilização de 83%, indicando que 17% do tempo não foi planeado para produção, o que, numa fábrica que trabalha continuamente poderá indicar um planeamento ineficiente de recursos.

Referências

- ANQIP. 2017. «Catálogo Nacional de Produtos Certificados 2017». 2017. <http://www.anqip.pt/images/catalogovf2017.pdf>.
- Arai, K, e K Sekine. 2006. *Kaizen for Quick Changeover: Going Beyond SMED*. Taylor & Francis.
- Bayo-Moriones, Alberto, Alejandro Bello-Pintado, e Javier Merino-Díaz de Cerio. 2010. «5S use in manufacturing plants: contextual factors and impact on operating performance». *International Journal of Quality & Reliability Management* 27 (2): 217–30. <https://doi.org/10.1108/02656711011014320>.
- Benjamin, Samuel Jebaraj, M Srikamaladevi Marathamuthu, e Uthiyakumar Murugaiah. 2015. «The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm». *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 21 (4): 419–35. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2013-0062>.
- Busso, Christianne Matias, e Dario Ikuo Miyake. 2012. «Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica». *Production* 23 (2): 205–25. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000068>.
- Chand, G., e B. Shirvani. 2000. «Implementation of TPM in cellular manufacture». *Journal of Materials Processing Technology* 103 (1): 149–54. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(00\)00407-6](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(00)00407-6).
- Cummings, T G, e C G Worley. 2009. *Organization Development and Change*. International Student Edition. South-Western/Cengage Learning.
- Dal, Bulent, Phil Tugwell, e Richard Greatbanks. 2000. «Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement – A practical analysis». *International Journal of Operations & Production Management* 20 (12): 1488–1502. <https://doi.org/10.1108/01443570010355750>.
- Dillon, A P, e S Shingo. 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Taylor & Francis.
- Gabahne, Lalit D, Mahendra M Gupta, e DR Zanwar. 2014. «Overall Equipment Effectiveness Improvement: A Case of injection molding machine». *The International Journal Of Engineering And Science*, 2319–1813.
- George, M. 2002. *Lean Six Sigma, Chapter 10 - Implementation: The DMAIC Improvement Process*. McGraw-Hill Education.
- Giraud, F, P Zarlowski, O Saulpic, M A Lorain, F Fourcade, e J Morales. 2011. *Fundamentals of Management Control: Techniques and Principles*. Pearson Education. Pearson.
- Hirano, H. 1995. *5 Pillars of the Visual Workplace*. For Your Organization! Taylor & Francis.
- Imai, M. 2012. *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy, Second Edition*. McGraw-Hill Education.
- Ishikawa, Kaoru. 1976. *Guide to quality control*. Industrial engineering and technology. Asian Productivity Organization.
- ISO. 2018. «ISO 9001:2000 - Quality management systems». 2018. <https://www.iso.org/standard/21823.html>.
- Jacobs, F R, R B Chase, e R R Lummus. 2011. *Operations and Supply Chain Management*. McGraw-Hill/Irwin series operations and decision sciences. McGraw-Hill Irwin.

- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., e M. Piechowski. 2016. «Practical Aspects of OEE in Automotive Company-Case Study». *International Conference on Management Science and Management Innovation*, n. Msmi: 213–18.
- Jeff Barkehanai. 2015. «Setting IAP Threshold for Micro/Minor Stoppages». 2015. <https://okmgcs.km.invensys.com/gcs/index?page=content&id=TN838&actp=LIST>.
- Jonsson, Patrik, e Magnus Lesshammar. 1999. «Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE». *International Journal of Operations & Production Management* 19 (1): 55–78. <https://doi.org/10.1108/01443579910244223>.
- Kaizen Institute. 2015. «Total Service Management (TSM) Introduction». Kaizen Institute.
- Kamal, M R, A I Isayev, e S J Liu. 2009. *Injection Molding: Technology and Fundamentals*. Polymer Processing Society, Progress in Polymer Processing. Hanser.
- Kunio, S, M Kaneda, e Y Kimura. 2004. *P-M Analysis: AN ADVANCED STEP IN TPM IMPLEMENTATION*. Taylor & Francis.
- Liker, J. 2003. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Business/ Management. McGraw-hill.
- Ljungberg, Örjan. 1998. «Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities». *International Journal of Operations & Production Management* 18 (5): 495–507. <https://doi.org/10.1108/01443579810206334>.
- Martin, W E, e K D Bridgmon. 2012. *Quantitative and Statistical Research Methods: From Hypothesis to Results*. Research Methods for the Social Sciences. Wiley.
- McIntosh, R I, S J Culley, A R Mileham, e G W Owen. 2001. «Improving changeover performance». *Improving Changeover Performance*. ButterWorth Heinemann Oxford.
- Moen, Ronald, e Clifford Norman. 2009. «Evolution of the PDCA Cycle». *Society*, 1–11.
- Nakajima, Seiichi. 1988. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Preventative Maintenance Series. Productivity Press.
- Ohno, T. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Taylor & Francis.
- Osada, T. 1991. *The 5S's: five keys to a total quality environment*. Asian Productivity Organization.
- Osada, T, e Y Takahashi. 1993. *TPM/MPT: manutencao produtiva total*. IMAM. Productivity Press. 1999. *OEE for Operators: Overall Equipment Effectiveness (The Shopfloor Series)*. The Shopfloor Series. Taylor & Francis.
- Reik, M. P., R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, e G. W. Owen. 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): 1225–35. <https://doi.org/10.1243/09544054JEM527>.
- Roda, Daniel. 2011. «Tudo sobre Plásticos - A Injetora de Plásticos». 2011. <http://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecao.asp>.
- Rosato, D V, e M G Rosato. 2012. *Injection Molding Handbook*. Kluwer Academic Publishers.
- Roser, Christoph. 2015. «How to Measure Cycle Times - Part 1». 2015. <https://www.allaboutlean.com/measure-cycle-time-part-1/>.
- Rother, M, J Shook, e Lean Enterprise Institute. 2003. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute. Taylor & Francis.

- Sivaselvam, E, e S Gajendran. 2014. «Improvement of Overall Equipment Effectiveness In a Plastic Injection Moulding Industry», 12–16.
- Suzaki, K. 1993. *New Shop Floor Management: Empowering People for Continuous Improvement*. Free Press.
- Todd, J. 1995. *World-class manufacturing*. McGraw-Hill Book Co.
- Vijayakumar, S R, e S Gajendran. 2014. «Improvement of Overall Equipment Effectiveness (Oee) in Injection Moulding Process Industry». *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 2 (10): 47–60.
- Wahab, Amelia Natasya Abdul, Muriati Mukhtar, e Riza Sulaiman. 2013. «A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions». *Procedia Technology* 11 (Iccee). Elsevier B.V.: 1292–98. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>.
- Wiendahl, H.P., e Winkelhake. 1988. «Permanent automatic supervision of assembly lines». *Developments in Assembly Automation*.
- Wojciechowski, Adrian. 2016. «Machine Use and the Supply Chain Efficiency in the Manufacturing Company» 6 (2): 165–76. <https://doi.org/10.21008/j.2083-4950.2016.6.2.6>.

ANEXO A: Máquina de injeção de plástico

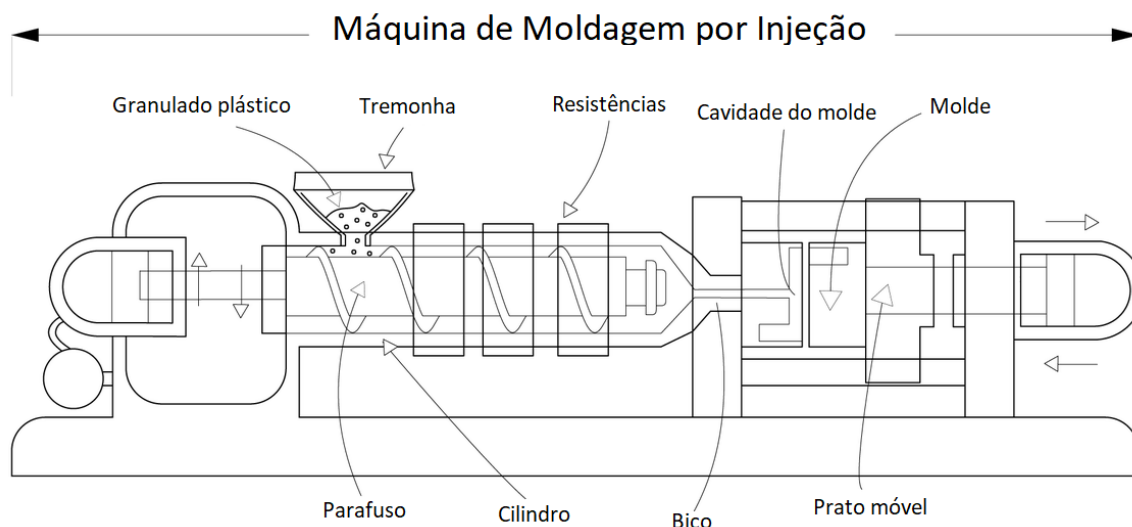


Figura 24 – Máquina de injeção (fonte: adaptado de easchangesystems.com)

De acordo com Roda (2011), e atentando à Figura 24, uma máquina de injeção de plástico é composta por:

- Tremonha.** O material termoplástico é fornecido na forma granular. A tremonha direciona os grânulos para a zona de alimentação do parafuso. Em algumas máquinas os funis foram substituídos por pequenos silos que já fazem a secagem do material, eliminando em muitos casos a necessidade do uso da estufa. Para além disso permite que o material entre quente no cilindro, permitindo que se demore menos a atingir o ponto de fusão.
- Cilindro.** É dentro do cilindro que ocorre a fusão do plástico, promovida pelas resistências elétricas e pelo atrito do parafuso com os grânulos. Deve-se prestar muita atenção ao tempo que o polímero permanece dentro do cilindro, pois pode degradar devido à exposição prolongada à pressão e ao calor.
- Parafuso.** O parafuso encontra-se dentro do cilindro e serve para transportar, comprimir, fundir, homogeneizar e dosar o material.
- Bico.** O bico conecta o cilindro ao do molde. Assim como no cilindro, geralmente as máquinas também possuem resistências no bico, onde a temperatura é controlada. Essa temperatura costuma ser a do ponto de fusão do material plástico que está a ser usado, para gerar pressão suficiente para injetar o plástico para dentro do molde.
- Molde.** O molde é composto por placas de aço ferramenta móveis e estacionárias, onde se encontram as cavidades que possuem a forma das peças. Possui ainda pinos extratores que ejetam a peça para fora do molde, e canais de refrigeração por onde circula um fluido de refrigeração (geralmente água ou óleo) que retira parte do calor para que não exista um sobreaquecimento do molde.
- Sistema hidráulico/elétrico.** O sistema hidráulico/elétrico da máquina de injeção proporciona a força para abrir, fechar e manter fechado o molde, para girar e avançar o parafuso, para empurrar os pinos extratores e mover as partes do molde.
- Sistema de controlo.** Proporciona uniformidade e repetibilidade na operação da máquina. Monitoriza e controla os parâmetros do processo de injeção, incluindo temperatura, pressão, velocidade de injeção, a velocidade do parafuso e a sua posição. Este controlo tem influência direta no produto final em termos de custos e qualidade.

ANEXO B: Pilares do TPM

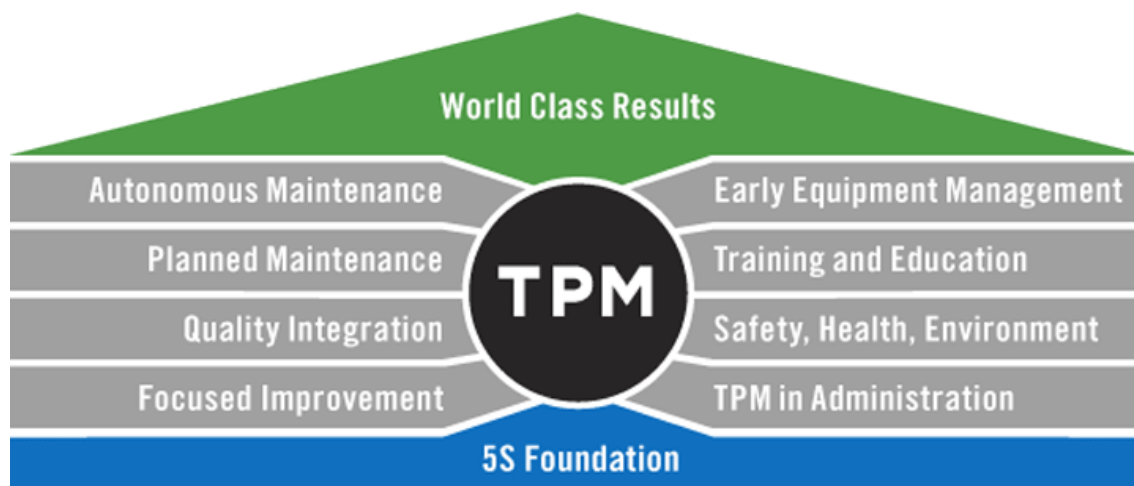


Figura 25 – Pilares do TPM (fonte: leanproduction.com)

Na Figura 25 estão representados os 8 pilares do TPM, assentes numa base composta pela ferramenta 5S.

1. **Manutenção Autônoma.** Jishu Hozen ou Manutenção Autônoma coloca a responsabilidade das atividades básicas de manutenção nos operadores, libertando a equipa de manutenção para atender a tarefas mais complexas;
2. **Manutenção Planeada.** A manutenção planeada implica o agendamento de atividades de manutenção com base no comportamento observado das máquinas, como taxas de avaria, contribuindo para o alargamento da vida útil dos equipamentos.
3. **Integração da Qualidade.** A integração da qualidade garante que o equipamento seja capaz de detetar e evitar erros durante a produção.
4. **Melhoria Focada.** Kobetsu Kaizen ou melhoria focada implica que equipas multidisciplinares se reúnam com o intuito de introduzir melhorias que resolvam um problema específico, seguindo uma metodologia sistemática de resolução de problemas.
5. **Gestão Antecipada de Equipamentos.** Sistema que faz uso da experiência obtida e opiniões da equipa que usará o equipamento, antes da instalação.
6. **Educação e Treino.** Garantir que os funcionários têm o treino adequado proporciona à empresa a possibilidade de impulsionar diversas iniciativas de melhoria.
7. **Segurança, Saúde e Ambiente.** Garante que todos os trabalhadores possuem um ambiente seguro para trabalhar e que todas as condições prejudiciais ao seu bem-estar sejam eliminadas.
8. **TPM Administrativo.** Aplicar TPM nas funções administrativas é a próxima etapa lógica do programa, de modo que toda a organização, incluindo as funções de suporte, siga a mesma cultura.

ANEXO C: Eficiência, eficácia e produtividade

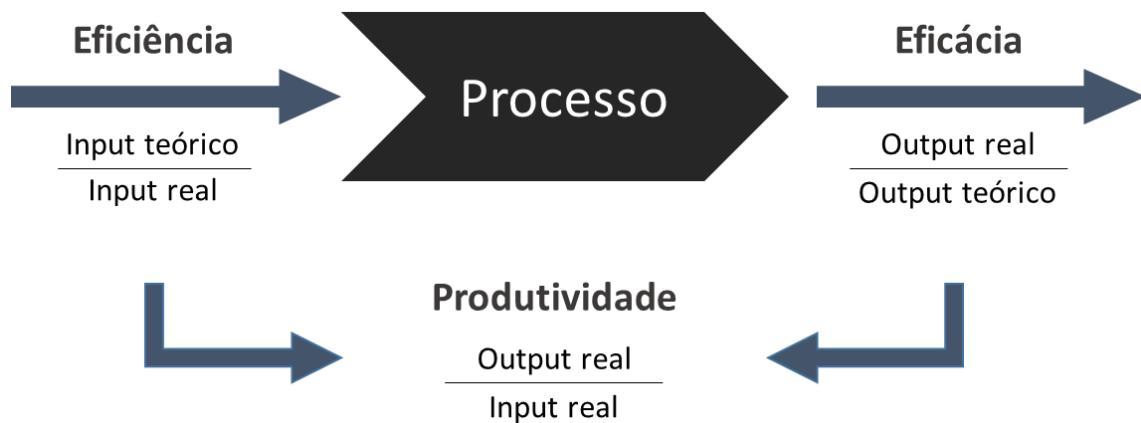


Figura 26 – Eficiência, Eficácia e Produtividade

Como se observa na Figura 26, apesar de serem muitas vezes usadas como sinónimos, existem diferenças na definição das métricas eficiência, eficácia e produtividade.

1. **Eficiência.** Está relacionada com os recursos consumidos pelo processo. É a relação entre os recursos necessários para produzir um dado *output* e os recursos que foram realmente consumidos;
2. **Eficácia.** É determinada pela razão entre a quantidade real produzida e a capacidade produtiva do processo. A eficácia não tem em conta os recursos que foram necessários para produzir o resultado.
3. **Produtividade.** Medida que relaciona a produção obtida (eficácia) e o esforço investido para atingir esse resultado (eficiência). Isto é, se produzirmos mais e/ou utilizando menos recursos a produtividade aumenta.

ANEXO D: Seis grandes perdas

Na Tabela 15 encontram-se descritas as seis grandes perdas e o seu enquadramento com o OEE. Incluem-se também alguns exemplos para cada categoria, adaptados à realidade da injeção plástica.

Tabela 15 – Seis grandes perdas

Índice OEE	Categoria Perda	Perda	Exemplos
Disponibilidade ou <i>Availability</i>	Perdas por inatividade	Falhas	-Avarias dos equipamentos -Manutenção não planeada -Danos nos moldes/ferramentas
		Setups e ajustes	-Mudança de molde -Mudança de matéria-prima
Performance	Perdas de velocidade	Microparagens	-Interrupção do fluxo de produção -Encravamento de componentes
		Redução de velocidade	-Ineficiência dos operadores -Desgaste das ferramentas/moldes
Qualidade ou <i>Quality</i>	Perdas por defeitos	Defeitos de produção	-Peças rejeitadas -Peças para retrabalho
		Defeitos de arranque	-Peças incompletas -Ajuste de tolerâncias

ANEXO E: OEE, OOE e TEEP

A Figura 27 auxilia a compreensão das diferenças existentes entre as definições do indicadores OEE, OOE e TEEP.

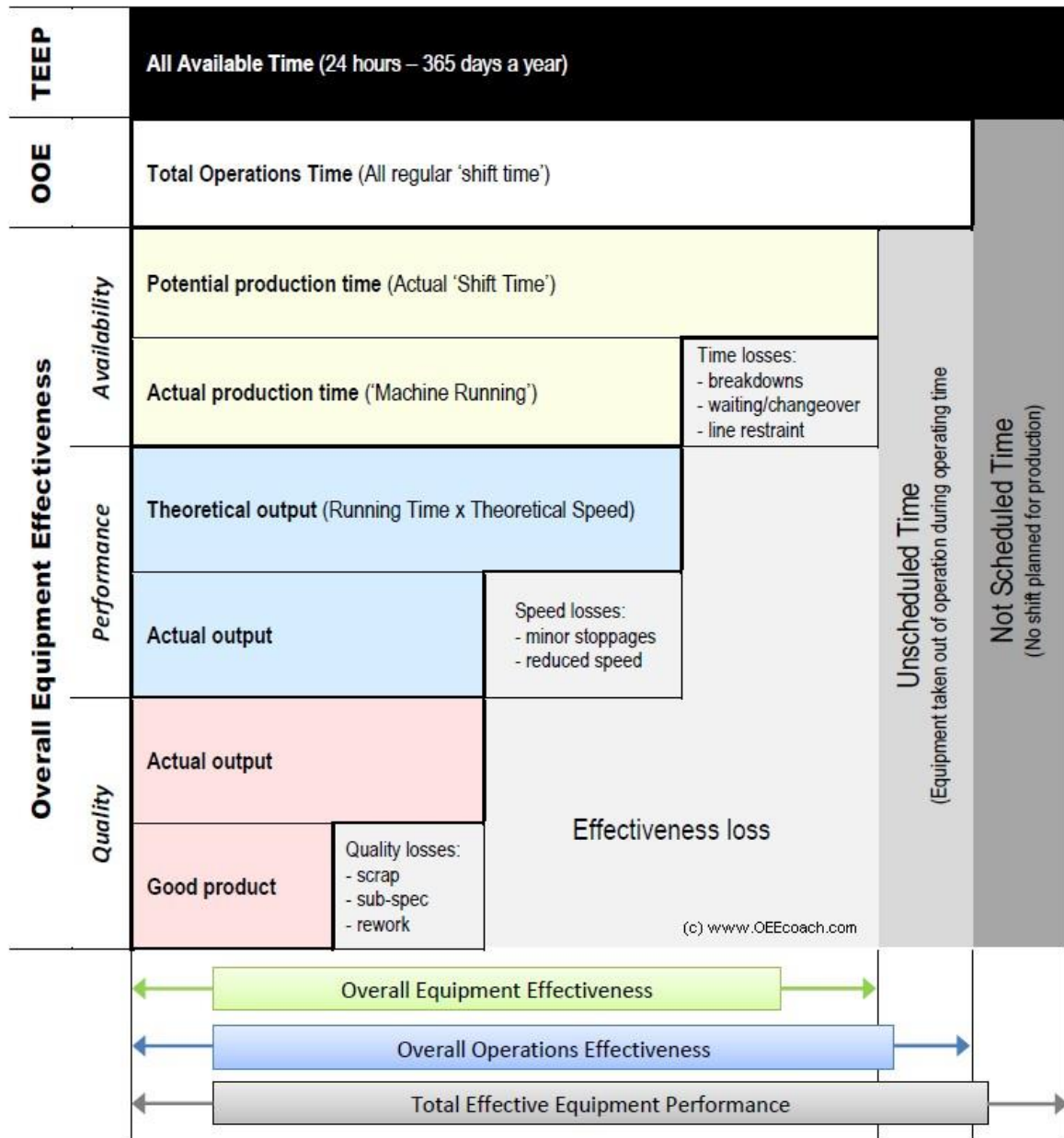


Figura 27 – OEE, OOE e TEEP (fonte: oeecoach.com)

ANEXO F: Organograma

Na Figura 28 está representada a estrutura organizacional da unidade fabril em estudo.

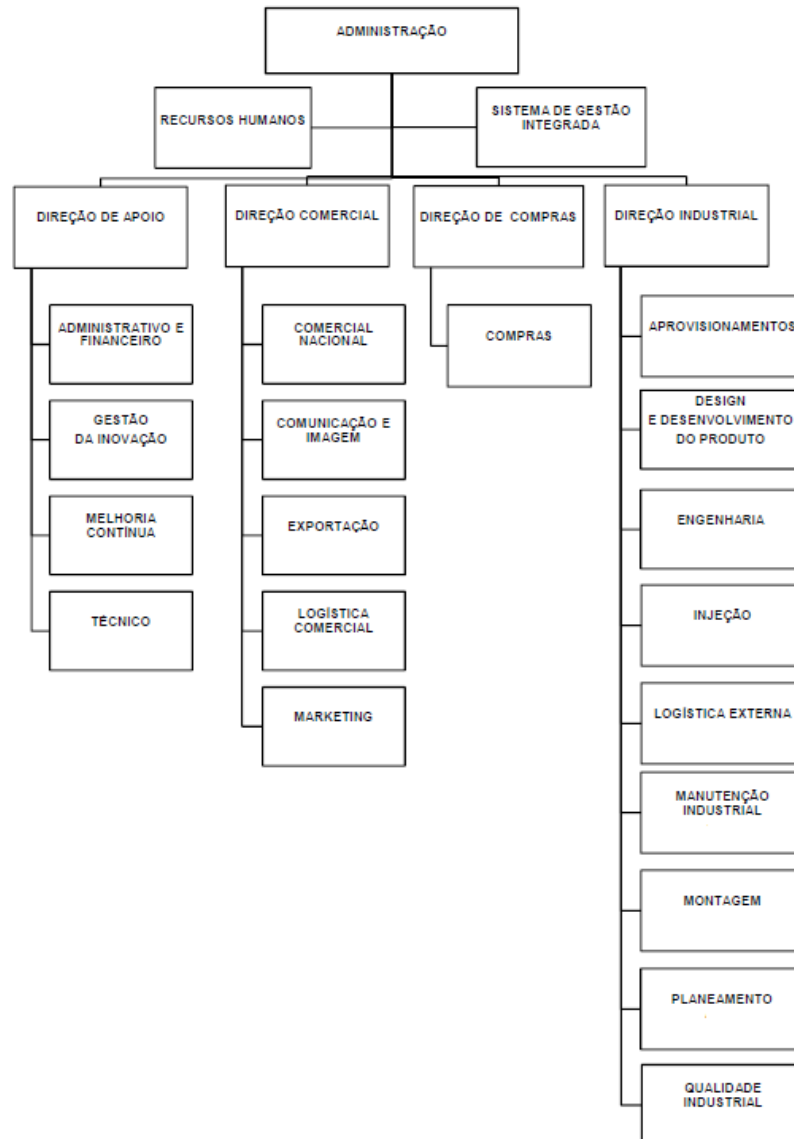


Figura 28 – Organograma

ANEXO G: Processo produtivo

Na Figura 29 encontra-se o diagrama do processo produtivo da fábrica onde decorre o projeto.

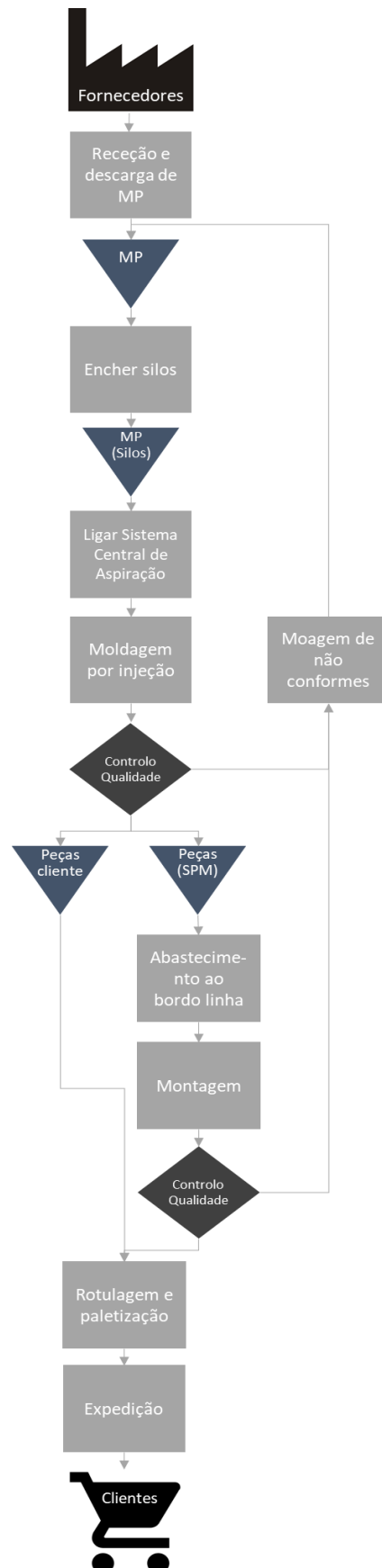


Figura 29 – Processo produtivo

ANEXO H: Layout da injeção

A Figura 30 representa a disposição física das máquinas de injeção automáticas, organizadas em quatro setores.

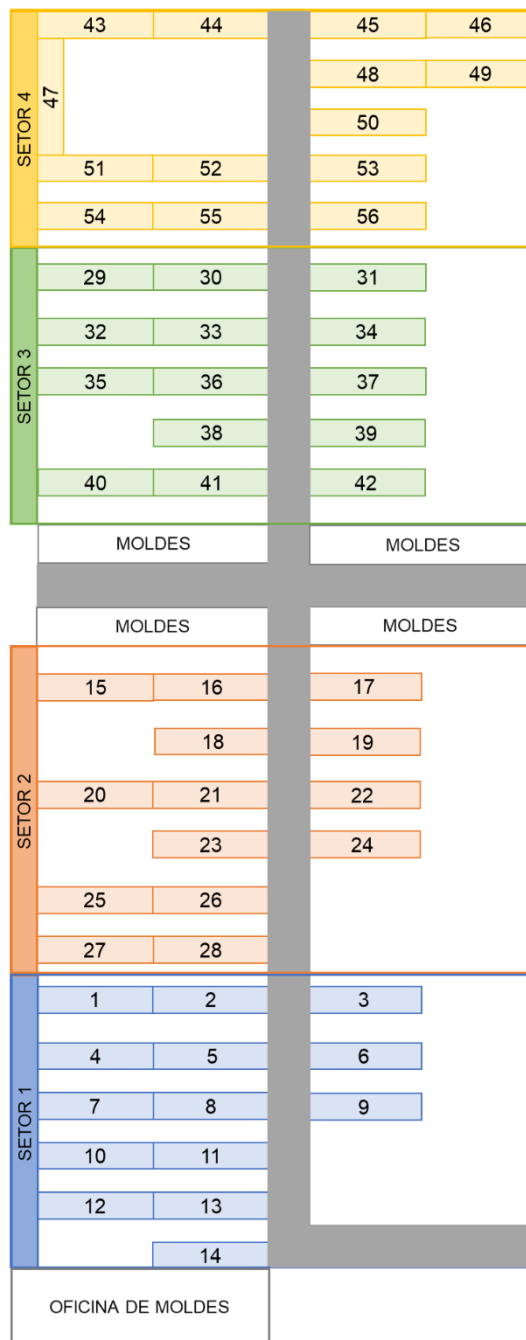


Figura 30 – Layout da injeção

ANEXO I: Pressupostos ANOVA

Foram validados os pressupostos dos modelos ANOVA nas análises em que se recorreu a esse modelo analítico. Apresenta-se, como exemplo, o procedimento realizado no software *Minitab*, para a análise dos pressupostos para a ANOVA de um fator do tempo de abertura em função do turno. Primeiramente, Figura 31, efetuando um teste de normalidade aos três grupos constatou-se que as amostras rejeitam a hipótese de a sua população seguir uma distribuição Normal ($p\text{-value} < 0,05$).

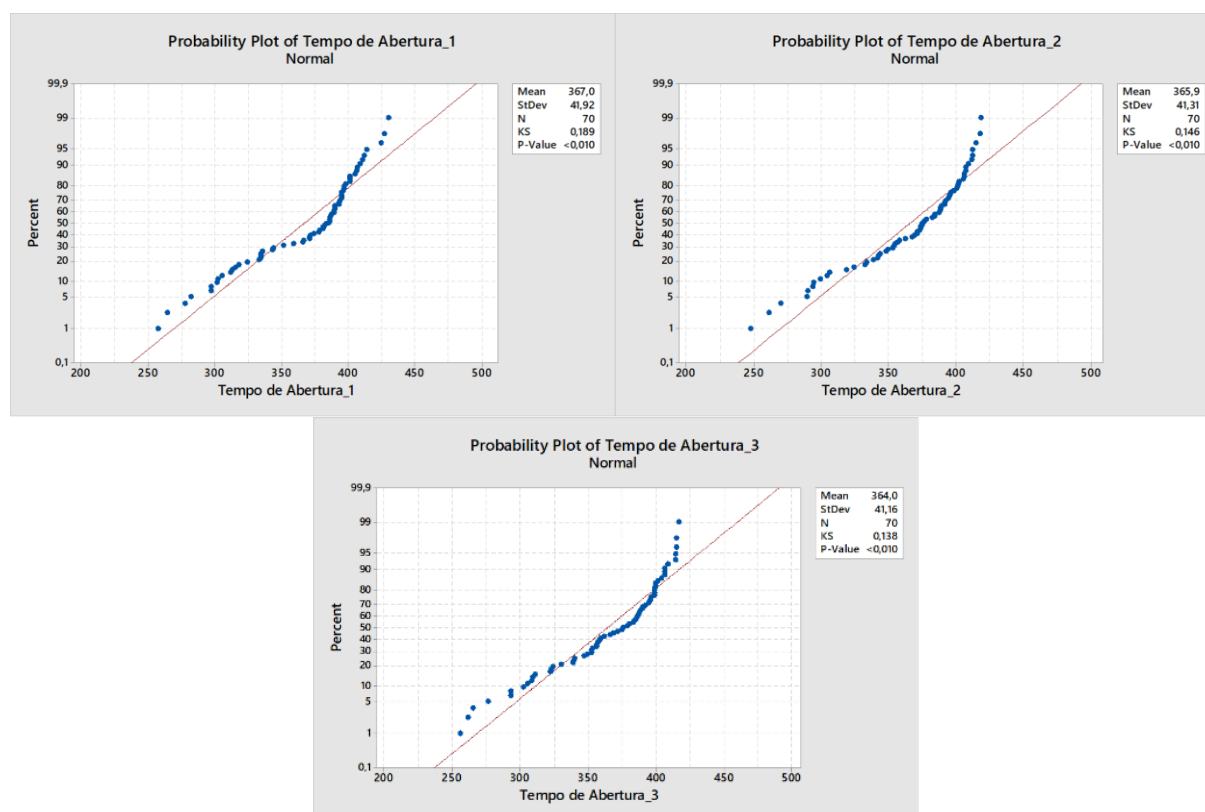


Figura 31 – Teste à normalidade

De seguida foi verificada a homogeneidade da variância, aplicando o teste de *Levene*, apresentado na Tabela 16. Verificando-se que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as variâncias das três populações (valor de prova = 0,98) a um nível de significância de 5%.

Tabela 16 – Teste de *Levene*

Test for Equal Variances: Tempo de Abertura versus Turno

Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	$\alpha = 0,05$

Tests

Method	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0,989
Levene	0,02	0,980

Um outro pressuposto diz respeito à normalidade e independência dos erros, que devem ainda ter valor esperado nulo e variância constante. Para isso elaborou-se uma análise gráfica dos resíduos, visível na Figura 32.

No gráfico da análise residual observa-se que, assim como para as populações, não é plausível assumir a normalidade dos resíduos.

Em relação ao *Versus Fits* repara-se que os pontos estão, nas três amostras, igualmente distribuídos em torno do 0, sem padrões visíveis o que valida a homogeneidade da variância entre os grupos.

No *Versus Order* há uma distribuição aleatória dos pontos em torno da linha central, concluindo-se que há independência entre os erros.

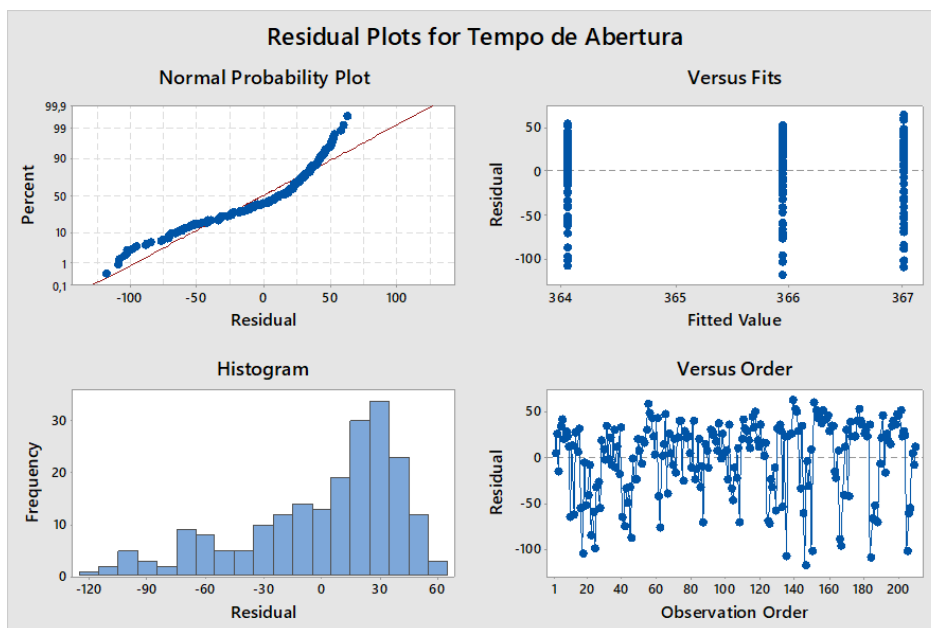


Figura 32 – Análise de resíduos

ANEXO J: Resultados ANOVA Tempo de abertura - Turno

Os resultados da ANOVA com um fator, realizada para a análise das diferenças do tempo de abertura dos três turnos encontram-se na Tabela 17. Todas as análises foram realizadas com um nível de significância de 5%.

Tabela 17 – ANOVA Tempo de abertura - Turno

One-way ANOVA: Tempo de Abertura versus Turno

Method

Null hypothesis	All means are equal
Alternative hypothesis	Not all means are equal
Significance level	$\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Turno	3	1; 2; 3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Turno	2	314	157,0	0,09	0,913
Error	207	355938	1719,5		
Total	209	356252			

Means

Turno	N	Mean	StDev	95% CI
1	70	367,00	41,92	(357,23; 376,78)
2	70	365,94	41,31	(356,17; 375,71)
3	70	364,05	41,16	(354,28; 373,82)

Pooled StDev = 41,4669

ANEXO K: Resultados *Tukey* por máquina

Neste anexo apresentam-se os resultados do teste de *Tukey* aplicado à disponibilidade e performance em função da máquina, visíveis na Tabela 18 e Tabela 19, respetivamente. Este método permite verificar a existência de diferenças entre os valores de cada máquina. Grupos que não partilham uma letra são, em termos estatísticos, significativamente diferentes. Por exemplo, em termos de disponibilidade as máquinas 123, 123 e 55 são significativamente melhores que as restantes, mas semelhantes entre elas.

Em termos de qualidade verificou-se que existem algumas diferenças entre as máquinas, no entanto, estas diferenças são de baixa grandeza e, por isso, influenciam muito menos o OEE quando comparadas com a disponibilidade e a performance.

Tabela 18 – Disponibilidade por máquina

Disponibilidade Máquina			
Máquina	N	Média	Grupo
124	1025	89,74%	A
123	1205	89,04%	A
55	1087	88,82%	A
125	1048	87,02%	B
72	1219	86,98%	B C
117	1063	86,56%	B C D
87	1073	86,47%	B C D
106	1020	86,40%	B C D E
108	1244	86,31%	B C D E F
92	1202	86,20%	B C D E F G
77	1211	86,18%	B C D E F G H
62	1185	86,12%	B C D E F G H
105	947	86,00%	C D E F G H I
113	1172	86,00%	C D E F G H I
66	1179	85,95%	D E F G H I J
63	1133	85,91%	D E F G H I J
101	1224	85,76%	D E F G H I J K
119	999	85,69%	D E F G H I J K
52	1126	85,47%	E F G H I J K L
64	954	85,39%	F G H I J K L
78	1132	85,33%	F G H I J K L M
116	1250	85,31%	G H I J K L M
81	908	85,18%	H I J K L M N
104	782	85,08%	I J K L M N
71	805	84,95%	J K L M N O
79	1102	84,95%	J K L M N O
59	1059	84,81%	K L M N O P
80	960	84,58%	L M N O P Q
107	934	84,36%	M N O P Q R
84	1018	84,36%	M N O P Q R
89	981	84,25%	N O P Q R
97	956	83,97%	O P Q R S
65	913	83,88%	P Q R S T
74	1067	83,87%	P Q R S T
88	1022	83,78%	Q R S T U
85	1104	83,71%	Q R S T U
100	1174	83,53%	R S T U V
68	1180	83,11%	S T U V W
60	1167	82,99%	S T U V W X
73	776	82,80%	U V W X
56	1081	82,60%	V W X Y
54	804	82,30%	W X Y
57	856	82,30%	W X Y
46	862	82,12%	W X Y
96	1062	82,05%	X Y
76	972	82,00%	X Y
49	1108	81,74%	Y Z
53	979	81,62%	Y Z
67	760	80,99%	Z AA
50	778	80,98%	Z AA
115	857	80,81%	Z AA
58	1019	80,52%	AA
70	1010	79,46%	AB
47	985	79,22%	AB AC
36	1093	79,01%	AB AC
40	1059	78,51%	AB AC
42	901	78,40%	AC

Tabela 19 – Performance por máquina

Performance Máquina			
Máquina	N	Média	Grupo
123	1205	91,18%	A
125	1048	90,85%	A
117	1063	89,64%	B
124	1025	89,46%	B C
72	1219	89,13%	B C D
87	1073	88,93%	B C D
113	1172	88,77%	B C D
119	999	88,48%	C D E
62	1185	88,47%	C D E
97	956	88,14%	D E F
96	1062	87,62%	E F G
116	1250	87,37%	F G H
100	1174	87,28%	F G H
77	1211	86,63%	G H I
115	857	86,51%	H I
106	1020	86,25%	I J
108	1244	86,10%	I J K
88	1022	86,06%	I J K
105	947	86,06%	I J K
60	1167	86,02%	I J K
89	981	85,86%	I J K L
85	1104	85,83%	I J K L M
101	1224	85,35%	J K L M N
81	908	85,33%	J K L M N O
104	782	85,22%	K L M N O
67	760	85,13%	K L M N O P
107	934	85,00%	L M N O P
70	1010	84,88%	L M N O P
76	972	84,86%	M N O P
52	1126	84,77%	N O P
64	954	84,76%	N O P
92	1202	84,68%	N O P Q
78	1132	84,34%	O P Q R
73	776	84,17%	P Q R S
68	1180	83,76%	Q R S T
79	1102	83,58%	R S T U
55	1087	83,19%	S T U V
65	913	83,10%	T U V W
71	805	82,64%	U V W X
46	862	82,59%	U V W X
63	1133	82,50%	V W X
47	985	82,49%	V W X Y
50	778	82,38%	V W X Y
84	1018	82,29%	V W X Y
80	960	82,24%	V W X Y
59	1059	82,12%	W X Y
58	1019	81,81%	X Y Z
53	979	81,75%	X Y Z
66	1179	81,50%	Y Z AA
54	804	81,07%	Z AA AB
74	1067	80,91%	Z AA AB
49	1108	80,69%	AA AB
42	901	80,43%	AB
57	856	80,37%	AB
56	1081	80,15%	AB
40	1059	78,85%	AC
36	1093	76,56%	AD

ANEXO L: Justificação de paragens e não conformes

Na Figura 33 apresentam-se todas as causas recolhidas na sessão de *brainstorming*. A verde assinalam-se aquelas seleccionadas para testar na máquina piloto.

Causas Qualidade	Causas Avaria	Outras causas
* Peças incompletas - Ranheta * Não conformes arranque - Marcas fio do gito - Deformadas - Pouco brilho - Cromagem a descascar - Vazios/Chupados - Fendas/Rugosidades - Dureza - Picos - Mal gravadas - Falta cromagem - Raiados - Caiu ao chão - Bolhas - Material danificado * Cor incorreta - Riscos - Estiramento * Manchas - Manchas de óleo - Partidos - Peças com sujidade - MP errada * Cotas erradas * Rebarba	* Avaria máquina * Avaria molde * Avaria robot * Avaria periférico * Fuga ar * Fuga água * Fuga óleo * Afinação processo - Afinação robot - Afinação periférico * Falta energia - Extrator partido - Prato não afina - Limpeza do canal quente - Plástico no molde * Gito/Peça presa * Ensaio	* Paragem programada * Falta MP * MP derogada - MP mal estufada - MP errada * Manutenção preventiva - Limpeza molde - Limpeza máquina
		Causas Mudança
		* Mudança molde * Mudança postigos * Mudança MP * Mudança cor

Figura 33 – Motivos para justificação de paragens e não conformes

ANEXO M: SMED - Estudo do trabalho

A primeira etapa do SMED consiste no estudo do trabalho, com o mapeamento das tarefas dos dois operadores (técnico e operador de injeção). A sessão de mapeamento ocorreu em equipa, Figura 34 e Figura 35, tendo-se registado as tarefas e respectivas durações⁸, assim como possíveis oportunidades de melhoria.

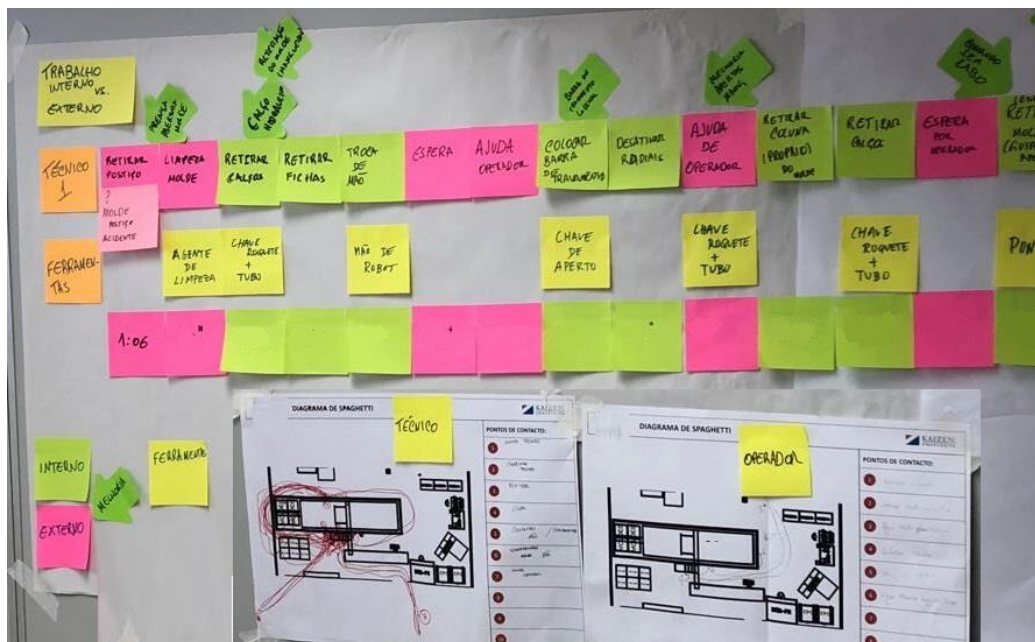


Figura 34 – Sessão de estudo do trabalho (SMED)

Estudo do Trabalho											
(Máquina Piloto - Mudança de Molde + Postiço)											
I/E	#	Descrição Tarefa - Operador ① - Técnico	Ferramenta	Hora	Duração	I/E	#	Descrição Tarefa - Operador ② - Operador	Ferramenta	Hora	Duração
E	1	Retirar postiço	Chave sextavada		00:00:00	I	1	Fixar ponte (colocar o gancho no olhal do molde)	ponte		
E	2	Limpeza molde	Agente de limpeza			I	2	Retirar fichas do molde	Chave roquete		
I	3	Retirar calços	Chave roquete + tubo			I	3	Retirar calços	Chave roquete		
I	4	Retirar fichas				I	4	Estacionar a placa da água			
I	5	Troca de mão	Mão de robot			E	5	Espera			
E	6	Espera				I	6	Colocar tensão no cabo da ponte			
E	7	Ajuda operador				I	7	Desapertar os calços	Chave de roquete + tubo		
I	8	Colocar barra de travamento	Chave de aperto			I	8	Retirar o molde e colocá-lo no chão	ponte		
I	9	Desativar radiais				E	9	Pegar o novo molde e aproximar novo molde.	ponte		
E	10	Ajuda a operador	Chave de roquete + tubo			I	10	Colocar novo molde	ponte		
I	11	Retirar coluna (próprio do molde, ligado à máquina)				I	11	Ajuda na centragem	ponte		
I	12	Retirar calços	Chave de roquete + tubo			I	12	Colocar calços			

Operador 1	Percentagem
Interno	68%
Externo	32%

Operador 1	Percentagem
Interno	75%
Externo	25%

Figura 35 – Estudo do trabalho (SMED)

⁸ Por motivos de confidencialidade, a duração das tarefas foi omitida.

ANEXO N: SMED - Avaliação de soluções e auditorias

As soluções encontradas foram analisadas em termos de custo, benefício e dificuldade de implementação. Observam-se na Figura 36 algumas das soluções identificadas assim como o esquema da análise realizada. O benefício monetário anual foi calculado recorrendo ao benefício temporal que se consegue por cada mudança, com a ajuda da área financeira, responsável pelo sistema de costeio da empresa, e inclui a receita gerada com o acréscimo de produção descontada dos custos variáveis com essa mesma produção.

Plano de Investimentos das Soluções Encontradas

#	Soluções a Implementar	Benefício (min)	Benefício (€)	Custo (€)	ROI	Payback Period	Implementação
1	Posição lateral de entrada/saída2	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
2	Reorganização das tarefas	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
3	Pré-aquecimento	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
4	Rebalanceamento de tarefas	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
5	Normalização de posições na ponte	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
6	Estante junto à máquina2	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
7	Patim para guiar molde1	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
8	Prensa para abertura moldes no exterior	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
9	Pratos móveis magnéticos1	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
10	Normalização de espessuras molde	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
11	Pino de centragem1	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
12	Apertos fáceis	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
13	Parametrização automática de periféricos	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses
14	Pistolas pneumáticas	- min	- €	- €	- %	- meses	- meses

Figura 36 – Plano de avaliação de soluções

Após a redefinição do *standard* de mudança e do treino dos operadores, foi elaborado um plano de auditorias com o objetivo de garantir a manutenção das melhorias introduzidas. Apresenta-se na Figura 37 um exemplo de auditoria a realizar ao *standard* do operador.

Registo de Seguimento de Mudança	
Checklist	Ok / Nok
Preparação da mudança	
E.1 Retirar boca da Matéria-Prima (MP)	
E.2 Retirar a MP, ligar tubo de aspiração à nova MP e colocar a aspirar	
E.3 Trocar pigmento e abastecer pigmentador	
E.4 Levar ferramentas para a máquina a mudar	
E.5 Levar molde a entrar para a posição auxiliar de entrada e alinhar a ponte com a máquina	
E.6 Transportar pote e soprar as águas	
E.7 Levar periféricos para a máquina - mão de robot, controlador de temperatura, estufa	
Mudança - Paragem da máquina	
I.1 Limpar o molde	
I.2 Fixar o gancho da ponte no olhal do molde	
I.3 Desligar a placa de óleo (obrigatório ter a bomba desligada)	
I.4 Desligar a placa de água	
I.5 Desligar a ficha de extração (caso exista e esteja do seu lado)	
I.6 Desapertar os calços da extração	
I.7 Desapertar perno/tirantes (caso exista)	
I.8 Desapertar calços do lado da injeção	
I.9 Retirar molde da máquina e colocá-lo na posição de saída	
I.10 Transportar o novo molde para a máquina	
I.11 Fixar calços do lado da injeção	
I.12 Remover o gancho	
I.13 Apertar perno/tirantes	
I.14 Fixar calços do lado da extração	
I.15 Ligar placa de água	
I.16 Ligar placa de óleo (obrigatório ter a bomba desligada)	
I.17 Ligar acessórios pneumáticos	
I.18 Ligar ficha de extração	
I.19 Ligar termostato e programa a temperaturas	
I.20 Ensaiar circuito de águas e verificar se existem fugas	
I.21 Verificar o funcionamento das borboletas das águas	
Máquina em funcionamento	
E.8 Levar molde anterior para posição de arrumação	
E.9 Arrumar periféricos do molde anterior - mão de robot, controlador de temperatura, estufa	

Data: _____

Máquina: _____

Molde a entrar: _____

Molde a sair: _____

Operador: _____

Técnico: _____

Hora início de setup: _____

Hora fim de setup: _____

Duração (objetivo min): _____

Resumo	Ok / Nok
Segurança	
Qualidade	
Rapidez	

Pontos a melhorar (registar e rever com Operador):

Figura 37 – Auditoria da mudança (tarefas do operador)

ANEXO O: GFM - Mapeamento dos processos

Mapearam-se os processos de criação e atualização de GFM's, Figura 38, em sessões de equipa, incluindo a identificação de oportunidades e problemas.

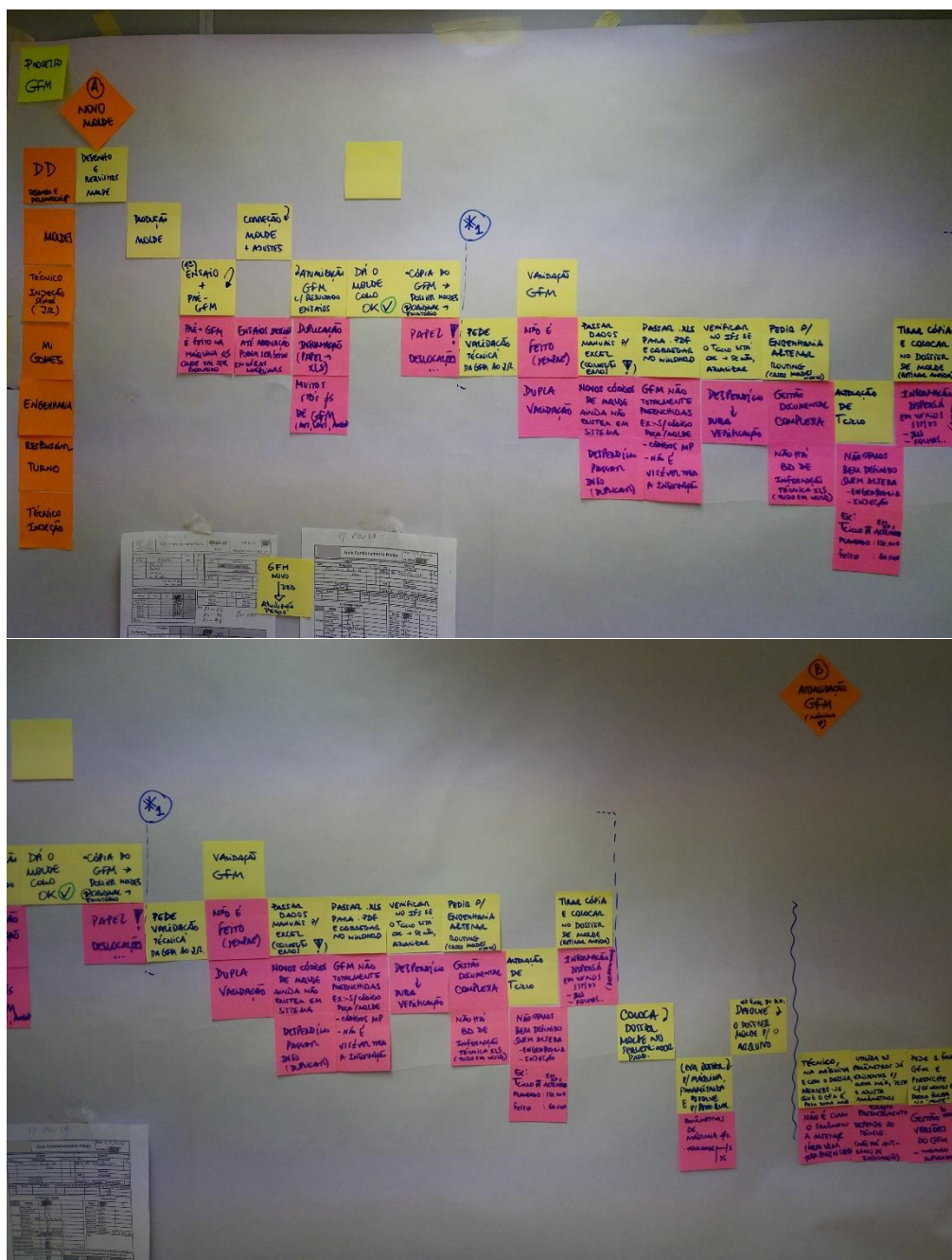


Figura 38 – Processos de criação e atualização de GFM's

ANEXO P: GFM - Parâmetros

Foram levantados os parâmetros relevantes, Figura 39, numa fase inicial da criação da aplicação.

Informação geral	Parâmetros Injeção	Temperatura de Máquina	Controlador de Temp do Molde
* Máquina * Molde - Versão * Códigos injetados * Descrição dos códigos * Peso peça * Nº Cavidades * Códigos Matéria Prima * Descrição MP * Códigos de Pigmento * Descrição Pigmento * RPM Pigmento * Tempo de Carga Pig - Velocidade de Carga - Contrapressão - Extração Obs * Estado	* Carga (mm) * Passagem (mm) * Tempo (s) * Velocidade * Pressão (+-5) * Posição (Repetir Fase 1...2) * Tempo Arrefecimento * Tempo Total Ciclo (s) * Tempo injeção	* Bico (+-20) * Zona 1 (+-10) - Zona 2 (+-10) - Zona 3 (+-10) - Zona 4 (+-10) - Zona 5 (+-10) - Zona 6 (+-10)	- Bico 1...12 (°C) - Carburador 1...6 (°C)
		Radiais - Radial Num - Cota Entrada (mm) - Cota Saída (mm) - Pressão Entrada (bar) - Pressão Saída (bar) - Velocidade Entrada - Velocidade Saída - Observações	Termoregulação do Molde * T1 (°C) - T2 (°C) - T3 (°C) - Arrefecimento
			* Preenchimento obrigatório * Preenchimento automático

Figura 39 - Parâmetros

ANEXO Q: Processo de novos moldes

Mapeou-se o processo de criação de moldes, Figura 40, e identificou-se a possibilidade de introduzir a questão dos métodos de separação e da autonomia numa fase inicial, antes da maquinação de molde, evitando assim a necessidade de corrigir problemas, mais à frente no processo, como acontece atualmente. A definição do método de separação será executada durante o FMEA⁹ de injeção, antes do desenho final. A questão da autonomia será abordada quando se definem as características dos bordos de linha que irão suportar a nova peça, isto é, na fase de industrialização.

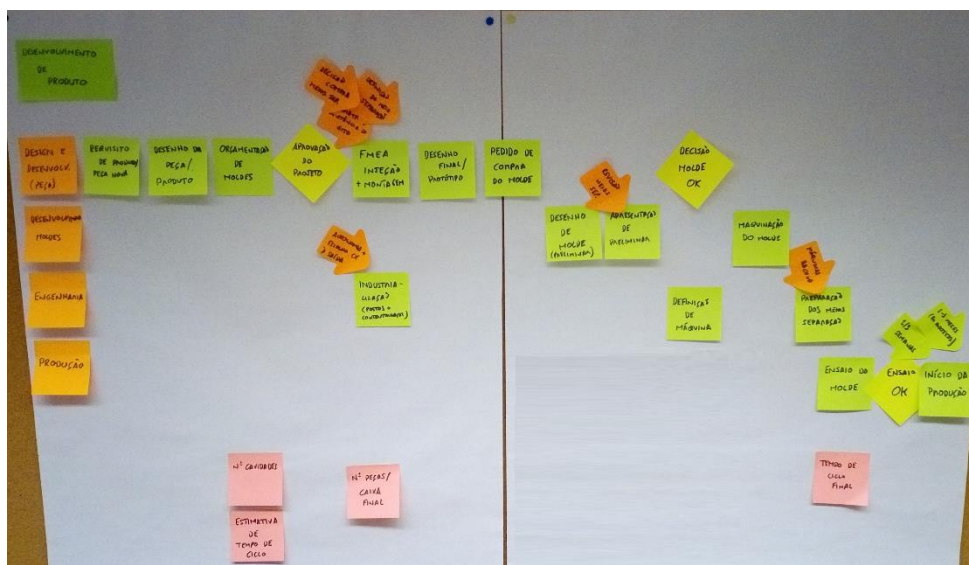


Figura 40 – Processo de criação de moldes

⁹ FMEA: ferramenta que permite sistematizar a deteção de possíveis falhas e avaliar os efeitos das mesmas, normalmente usado em fase de desenvolvimento. Considerando as possíveis falhas, identificam-se ações para eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência dessas falhas.