Melhoria de uma linha de PVD através da Gestão da Qualidade Total

José Manuel Lírio Sá Castro

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Mário Filipe Amorim Faria de Oliveira Lopes

Orientador na empresa: Eng.º Pedro Reina Casanova Moreira

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2019-07-01

Para vencer - material ou imaterialmente - três coisas definíveis são precisas: saber trabalhar, aproveitar oportunidades, e criar relações. O resto pertence ao elemento indefinível, mas real, a que, à falta de melhor nome, se chama sorte.
Fernando Pessoa

Resumo

O projeto realizado foca-se na melhoria de uma linha de PVD (do inglês, *Physical Vapor Deposition*). A elevada taxa de rejeição dos dois grupos de peças produzidos, sem cor e com cor, representa uma oportunidade de melhoria. Para este fim, foram implementadas soluções baseadas na Gestão da Qualidade Total, uma abordagem estratégica que envolve toda a organização e tem como objetivo garantir a manutenção e melhoria dos processos bem como a satisfação do cliente. A aplicação desta estratégia confere às empresas uma oportunidade de redução de custos, aumento de produtividade e aumento de competitividade nos mercados.

Este projeto teve como objetivo diminuir a taxa de rejeição de peças produzidas e promover uma cultura de melhoria contínua. Foram estabelecidos círculos de qualidade através da realização de reuniões, centradas na partilha de conhecimento e na resolução estruturada de problemas, promovendo assim a consciencialização de todos os funcionários sobre a importância da qualidade. Foram criadas instruções de trabalho que permitiram normalizar as tarefas executadas numa fase do processo em que o mínimo desvio face ao estabelecido origina defeitos nas peças. Além disso, numa etapa manual do processo e dependente da experiência do operário foi implementado um controlo de qualidade volante. Finalmente, foi desenvolvido um mecanismo que alerta para uma futura ocorrência de defeitos nas peças caso não sejam colocadas em prática ações corretivas.

A meta estabelecida no início do projeto, redução da taxa de rejeição semanal para 10% em peças com cor e 8% para peças sem cor, foram alcançadas com sucesso, partindo de valores médios de 24,1% e 12,4%, respetivamente. A diminuição da taxa de rejeição obtida face a esses valores, tendo em conta as últimas quatro semanas de projeto, num momento em que as soluções propostas já tinham sido implementadas e estabilizadas, foi de 47% nas peças sem cor e de 60% nas peças com cor. De modo a alcançar níveis de rejeição inferiores, são ainda sugeridas medidas que permitem uma redução do manuseamento de peças ao longo do processo produtivo e um aumento da informação disponível nos postos de trabalho.

Improvement of a PVD line based on Total Quality Management
Abstract

This project focuses on the improvement of a PVD (*Physical Vapor Deposition*) line. The high rejection rate of the produced parts of both colored and colorless groups represented an opportunity for cost reduction. To this end, the focus of this dissertation was to improve the production line, based on Total Quality Management. This concept refers to a strategic approach involving the entire organization, ensuring the maintenance and improvement of the production processes, as well as clients' satisfaction. This strategy grants organizations an opportunity to reduce costs, increase productivity and gain a competitive advantage.

This project aimed at diminishing the rejection rate together with the promotion of a culture based on continuous improvement. Quality circles were created through short gatherings centered on knowledge sharing and structured problem-solving, promoting awareness to all employees of the importance of quality. Work instructions were developed to standardize tasks that could cause defects if they were not done exactly as they were supposed to. Additionally, quality control was created in a production stage where the work developed was very manual and highly dependent on the experience of the operator. Finally, a mechanism that signals non-conforming situations was created to prevent the occurrence of defects.

The goal established at the beginning of the project was the reduction of the weekly rejection rate of colored and colorless parts. Relative to the first, the aim was to reduce the rejection rate in such a way that it would be around 10%, being the initial value 24,1%. In what regards the colorless parts, the goal was to reduce the rate from 12,4% to a maximum value of 8%. The overall goal was successfully accomplished since the weekly percentage variation rounded 47% for colored parts and 60% for the colorless ones. To achieve even lower levels of rejection, suggestions were made focusing on a reduction of the contact between employees and the materials from the production process alongside with suggestions to increase the information available in the workstation.

Agradecimentos

Ao Professor Mário Amorim Lopes, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, agradeço a disponibilidade e atenção para comigo bem como a orientação dedicada ao longo do período de elaboração desta dissertação. Estes agradecimentos são extensivos aos restantes Professores do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, pela dedicação e excelência de ensino que sempre demonstraram ao longo do meu percurso académico.

Ao Kaizen Institute, em especial ao meu orientador, Pedro Reina, agradeço todo o apoio e conhecimento transmitido ao longo do projeto desenvolvido. Aos restantes membros da equipa, agradeço a boa integração e toda a partilha de experiência que me marcou a nível pessoal e profissional e certamente me será de valor no futuro.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão, por me proporcionarem todas as condições para que os meus objetivos fossem alcançados, em particular neste período desafiante de elaboração da presente dissertação.

À minha namorada, um agradecimento por todo o apoio, amizade e carinho. Um exemplo de dedicação e esforço que levo para a vida, por me mostrar que quanto mais nos dedicamos mais sucesso temos.

Aos meus amigos, por todos os momentos de lazer e diversão que me proporcionaram, bem como todas as horas de estudo e trabalho que partilhamos.

Índice de Conteúdos

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento do projeto 1
1.2 Kaizen Institute Consulting Group 2
1.3 A Empresa Cliente 2
1.4 Objetivos do projeto 3
1.5 Método seguido no projeto 4
1.6 Estrutura do documento 4

2 Enquadramento Teórico 5

2.1 Metodologia Kaizen 5
2.2 Kaizen *Business System* (KBS) 6
2.3 Gestão da Qualidade Total (TQM) 7

2.3.1 Nível 0 – Avaliar custos de qualidade 8
2.3.2 Nível 1 – Reter os defeitos 8
2.3.3 Nível 2 – Reduzir os defeitos 9
2.3.4 Nível 3 – Isolar os defeitos 11
2.3.5 Nível 4 – Zero defeitos 12

2.4 Círculos de Qualidade 13

3 Análise da Situação Inicial 14

3.1 Mapeamento do processo produtivo 14

3.1.1 Entrega do armazém 15
3.1.2 Escovagem 15
3.1.3 Carga e lavagem 16
3.1.4 Estufa e câmaras de PVD 17
3.1.5 Inspeção e embalamento 18

3.2 Caracterização dos defeitos 19
3.3 Análise da taxa de rejeição 23

4 Implementação de Soluções e Resultados 26

4.1 Estabilização do processo produtivo 26

4.1.1 Círculos de qualidade 26
4.1.2 Controlo de qualidade volante e auditorias da qualidade 28
4.1.3 Criação de instruções de trabalho na carga e lavagem 31

4.2 Resolução estruturada de problemas 32

4.2.1 Acompanhamento de peças críticas 32
4.2.2 Mecanismo *poka-yoke* na carga 34

4.3 Resultados 36

5 Conclusões e Perspetivas Futuras 39

5.1 Conclusões 39
5.2 Perspetivas futuras 40

Referências 41

ANEXO 1: Ferramenta de sinalização de peças críticas - Excel 43

ANEXO 2: Evolução da taxa de rejeição 44

Siglas

DMAIC – *Define, Measure, Analyse, Improve, Control*
IT – Instrução de Trabalho
KBS – *Kaizen Business System*
PDCA – *Plan, Do, Check, Act*
PVD – *Physical Vapor Deposition*
SDCA – *Standardize, Do, Check, Act*
SKU – *Stock Keeping Unit*
TQM – *Total Quality Management*
VA – Valor Acrescentado

Índice de Figuras

Figura 1 - Logótipo do Kaizen Institute. 2
Figura 2 - Número de SKUs (*Stock Keeping Units*) processados por mês. 2
Figura 3 - Evolução da taxa de rejeição, dados de 2019. 3
Figura 4 - Kaizen *Business System* (KBS). Retirado de Kaizen Institute (2018b). 6
Figura 5 – *Gestão da Qualidade Total* (TQM). Retirado de Kaizen Institute (2018b). 7
Figura 6 - Ciclo *Plan Do Check Act* (PDCA). Retirado de Imai (2012). 10
Figura 7 - Matriz da auto qualidade. Retirado de Kaizen Institute (2018b). 12
Figura 8 - Mapeamento do processo produtivo de peças escovadas. 14
Figura 9 - Esquema de camadas das peças. 15
Figura 10 - Posto de escovagem. 16
Figura 11 - Suspensão com peças. 17
Figura 12 - Fases da lavagem automática. 17
Figura 13 - Câmara de PVD com mesa vertical com peças. 18
Figura 14 - Peça com zonas A, B e C assinaladas. 19
Figura 15 - Peças com dano mecânico. 19
Figura 16 - Peça com falta de PVD. 20
Figura 17 - Peça com escovagem excessiva. 20
Figura 18 - Peça com desvio de cor. 21
Figura 19 - Peça com erro de revestimento. 21
Figura 20 - Peça com mancha. 21
Figura 21 - Peça com marca de água. 22
Figura 22 - Peça deformada. 22
Figura 23 - Peça com marca de contacto. 22
Figura 24 - Distribuição da rejeição total por defeito (Semana 1 – Semana 9). 23
Figura 25 - Distribuição da rejeição total por defeito - peças com cor e sem cor (Semana 1 – Semana 9). 24
Figura 26 - Evolução dos defeitos mancha, dano mecânico e erro de escovagem em peças sem cor (Semana 1 - Semana 9). 24
Figura 27 - Evolução dos defeitos falta de PVD, dano mecânico e fornecedor em peças com cor (Semana 1 - Semana 9). 25
Figura 28 - Exposição de peças com defeitos. 27
Figura 29 - Rejeição devido a erro de escovagem (Semana 1 – 9). 28
Figura 30 - Registo de avaliações de postos de escovagem e registo de ocorrências do turno. 30

Figura 31 - *Template* de instruções de trabalho. 31
Figura 32 - Fluxo de criação de instruções de carga. 32
Figura 33 - Distribuição das taxas de rejeição. 32
Figura 34 - Mesas de transporte horizontal antigas (esquerda) e mesas de transporte horizontal novas (direita). 34
Figura 35 - Mecanismo *poka-yoke*. 35
Figura 36 - Fluxo de ações para teste na carga. 35
Figura 37 - Evolução da rejeição de peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21). 36
Figura 38 - Evolução da taxa de rejeição devido a erro de escovagem em peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21). 37
Figura 39 - Evolução da taxa de rejeição devido a dano mecânico em peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21). 37
Figura 40 - Exemplo de identificação de referências com taxa de rejeição elevada. 43
Figura 41 - Evolução da taxa de rejeição (Semana 1 - Semana 21). 44

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Variação das taxas de rejeição para os diversos defeitos 38

1 Introdução

Ao longo desta secção será feito um breve enquadramento do projeto, bem como apresentada a empresa na qual este mesmo projeto foi desenvolvido. Serão ainda identificados os objetivos, as metodologias utilizadas e explicada a estrutura adotada na elaboração do documento.

1.1 Enquadramento do projeto

De acordo com o programa estabelecido para o 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, foi elaborada a presente dissertação que relata a intervenção de uma empresa de consultoria – o Kaizen Institute Consulting Group – numa empresa cliente, doravante designada por "Empresa Cliente". O foco do projeto enquadra-se no setor da qualidade, tendo em vista a diminuição da taxa de rejeição de produto final.

A Empresa Cliente, que por motivos de confidencialidade não é identificada na dissertação, tem o seu processo produtivo distribuído por diferentes setores que contemplam distintas formas de produção e de montagem, sendo que a atuação do Kaizen Institute se focou no seu processo mais recente, designado por Deposição Física de Vapores (PVD, do inglês *Physical Vapor Deposition*).

Deposição Física de Vapores descreve uma variedade de processos de deposição, nos quais átomos ou moléculas de materiais são vaporizados a partir de uma fonte líquida ou sólida, transportados na forma de vapor através de vácuo, ou de um meio gasoso a baixa pressão, e posteriormente condensados no substrato (Mattox, 2002). A tecnologia PVD é muito versátil uma vez que permite a deposição em todos os materiais inorgânicos, como é o caso de metais, ligas, compósitos e misturas, bem como em alguns materiais orgânicos (Shahidi *et al.*, 2015). O revestimento conseguido através desta deposição cria camadas de espessura que pode variar entre dimensões ao nível atómico até vários micrómetros (Baptista *et al.*, 2018). Este tratamento confere um acabamento duradouro, resistente à corrosão e estético, sendo a sua aplicação utilizada em produtos distintos, designadamente: eletrodomésticos, produtos aeroespaciais e produtos sanitários (Vergason *et al.*, 2015). O processo de PVD utilizado pela Empresa Cliente opera através de arco elétrico sendo que este tipo de deposição permite obter revestimentos que conferem aos objetos não só um aumento de rigidez e resistência como também características decorativas (Mattox, 2010).

Com o registo de elevados níveis de rejeição, na linha de produção onde a Empresa Cliente implementou o processo PVD, surge uma oportunidade de melhoria significativa, destacando-se o aumento de *output*, redução do retrabalho e decréscimo dos gastos que se tornam mais penalizadores com o aumento da produção de artigos defeituosos.

Neste sentido, o projeto desenvolveu-se no âmbito da melhoria da qualidade, com a implementação de medidas transversais a todo o processo, de maneira a reduzir os níveis de rejeição causados nas diversas etapas.

1.2 Kaizen Institute Consulting Group

O Kaizen Institute Consulting Group, Figura 1, é um grupo empresarial multinacional, que, à data, se encontra presente em cerca de sessenta países, cuja atividade se centra em consultoria operacional. Atualmente tem sede em Zug, Suíça, e a sua origem remonta a 1985 através do Professor Masaaki Imai.

Figura 1 - Logótipo do Kaizen Institute.

A missão do Kaizen Institute foca-se no desenho e implementação de soluções que permitam a prática da melhoria contínua nas organizações. As entidades abrangidas podem ser públicas ou privadas e de setores de atividade transversais, designadamente transportes, serviços, retalho, indústria de processo, saúde, produção discreta, indústria de montagem, entre outros.

1.3 A Empresa Cliente

A empresa onde foi desenvolvido o projeto é constituída por três unidades de produção distintas: fundição, montagem e PVD. No que diz respeito à secção de PVD, a mais recente, tem-se verificado que os produtos daqui provenientes têm sofrido um grande aumento da procura quer em termos de quantidade como de variedade. Desse modo, e para dar resposta ao crescimento das encomendas, o foco da empresa foi a quantidade produzida, em detrimento da qualidade.

O aumento de diversidade de artigos produzidos é retratado pelo aumento de SKUs (*Stock Keeping Units*), como pode ser observado na Figura 2, onde está registado o aumento de referências produzidas em cada mês, entre setembro de 2018 e fevereiro de 2019. O aumento registado no período analisado foi de 63%, sendo que este acréscimo de referências aumentou a complexidade de todo o processo. Neste sentido, foi necessário desenvolver ferramentas para tornar exequível a produção de novas peças e, consequentemente, a contratação de mais colaboradores.

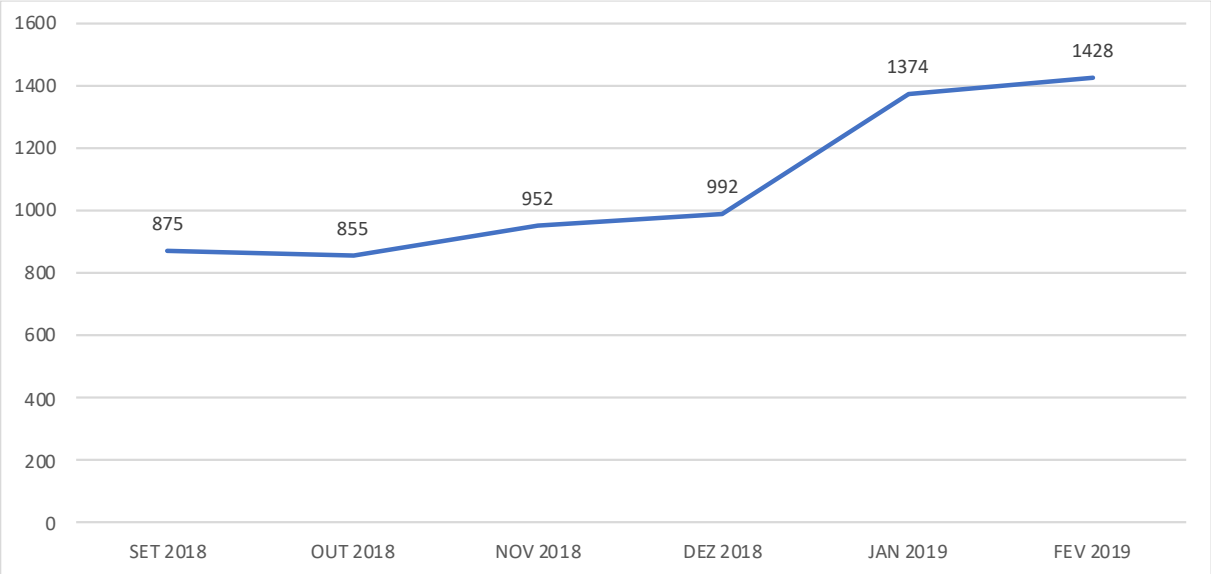


Figura 2 - Número de SKUs (*Stock Keeping Units*) processados por mês.

O crescimento das encomendas, que se traduziu num aumento da quantidade de produtos e, sobretudo, da variedade de referências, representou um grande desafio ao nível dos recursos humanos, uma vez que este processo tem uma forte componente manual. Por acréscimo, uma das fases do processo, a fase de escovagem, está fortemente dependente da experiência do colaborador, implicando um tempo de aprendizagem elevado para novos funcionários, sendo expectável um período de formação de três a quatro semanas.

Neste processo de PVD, as peças processadas são divididas em dois grandes grupos: (i) peças em que existe uma aplicação de cor durante o processo, designadas de peças com cor; e (ii) peças em que não existe essa etapa, denominadas peças sem cor. Em ambos os casos as peças podem apresentar um acabamento brilhante ou escovado.

1.4 Objetivos do projeto

O foco principal do projeto centra-se na melhoria da qualidade, materializada através da redução da taxa de rejeição de material defeituoso. Este indicador deverá ser subdividido de forma a evidenciar o diferente nível de ocorrências verificado nas peças sem cor e nas peças com cor.

Esta distinção é relevante uma vez que a complexidade do processo, no caso em que é aplicada à cor das peças, surge acrescida, levando a uma taxa rejeição superior à que se observa nas peças sem cor.

Assim, a Figura 3 representa a evolução semanal da rejeição de peças sem cor e de peças com cor, durante o período de 2019, até ao momento do início do projeto.

Ao longo do período em análise, as peças com cor apresentam uma taxa de rejeição média de 24,10%. No caso das peças sem cor a taxa de rejeição média foi de 12,4%, e embora tendo apresentado menores oscilações, verificou-se um aumento da rejeição a partir da semana 4.

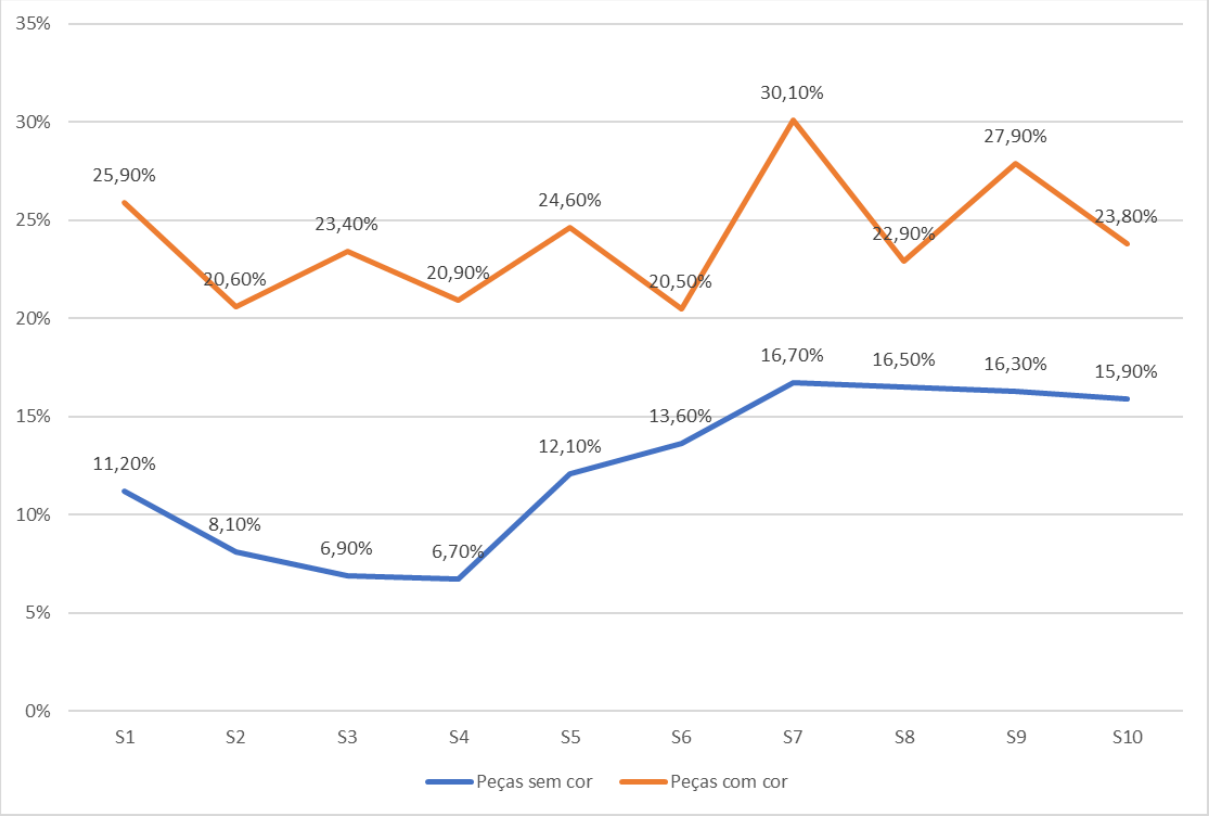


Figura 3 - Evolução da taxa de rejeição, dados de 2019.

Assim, os objetivos do projeto foram delineados tendo em conta os dois grupos de peças processados. Partindo de valores médios de rejeição de 24,10% e 12,4%, para produtos com cor e sem cor, respetivamente, foi apresentada a seguinte proposta:

- Taxa de rejeição de referências sem cor – 8%;
- Taxa de rejeição de referências com cor – 10%.

Paralelamente aos indicadores acima referidos, foi ainda colocado como objetivo a formação de pessoas e a criação de uma cultura de melhoria contínua, de forma a sustentar os ganhos obtidos e projetar novas oportunidades com vista à otimização do processo.

1.5 Método seguido no projeto

O método seguido no projeto contempla três fases distintas, de forma a atingir os objetivos propostos: (i) mapeamento do processo produtivo e levantamento de oportunidades de melhoria, com o intuito de estabelecer as principais ações a colocar em prática e que representem os maiores ganhos a curto-prazo através do acompanhamento presencial das diversas etapas do processo; (ii) estabilização do processo produtivo, através de normalização de práticas, criação de pontos de controlo de qualidade em fases críticas do processo, ações de formação e sensibilização de todos os intervenientes da linha; e (iii) resolução estruturada de problemas com o objetivo de solucionar situações específicas.

1.6 Estrutura do documento

A estrutura da presente dissertação contempla cinco capítulos. No primeiro capítulo pretendeu-se identificar o projeto no qual se baseia a dissertação, bem como as metodologias e objetivos inerentes.

O segundo capítulo é composto por uma revisão bibliográfica onde é abordada a metodologia Kaizen, dando especial enfase à sua componente de qualidade – Gestão de Qualidade Total (TQM, do inglês *Total Quality Mangement*) – tendo sido a base das implementações efetuadas.

A situação inicial do projeto é apresentada no terceiro capítulo, fazendo também parte desta secção uma apresentação mais detalhada de todo o processo produtivo, bem como a identificação dos defeitos encontrados, o seu peso na produção e a evolução da rejeição associada a cada diferente defeito detetado.

No quarto capítulo são identificadas as soluções, com o objetivo de diminuir a taxa de rejeição, bem como o processo de implementação das mesmas. São ainda analisados os resultados e impactos provenientes das ações colocadas em prática.

Por fim, no quinto capítulo são expostas as conclusões do projeto e discutidas oportunidades para trabalhos futuros.

2 Enquadramento Teórico

As soluções implementadas e as ferramentas utilizadas no decorrer do projeto tiveram por base a metodologia Kaizen. Assim, será feita uma introdução teórica a esta metodologia, bem como uma análise ao modelo KBS (*Kaizen Business System*).

No âmbito da qualidade será analisada o TQM, sendo detalhadas as ferramentas e objetivos de cada um dos seus cinco níveis.

2.1 Metodologia Kaizen

A palavra Kaizen tem origem japonesa e resulta da combinação de dois conceitos, "Kai", que significa "mudar", e "Zen", que significa "melhor". A sua junção cria a palavra Kaizen, que significa melhoria contínua. Esta metodologia foca-se exatamente nisso, na melhoria contínua, envolvendo todas as pessoas e áreas da organização, todos os dias. Segundo o Kaizen Institute (2018a), os cinco princípios fundamentais desta metodologia são:

- Criação de valor para o cliente – A importância de colocar o cliente em primeiro lugar, identificar os seus interesses e melhorar a sua experiência. Reconhecer o que é valor acrescentado para o cliente, ou seja, atividades que o cliente está, efetivamente, disposto a pagar;
- Eficiência do Fluxo – Eliminação de todas as atividades que não representem valor acrescentado para o cliente e que gerem desperdício (em japonês, muda). Essas atividades podem ser categorizadas da seguinte forma:
    - Espera de pessoas;
    - Espera de materiais e informação;
    - Movimento de pessoas;
    - Movimento de materiais e informação;
    - Produção em excesso;
    - Excesso de processamento;
    - Erros que levam a perdas e retrabalho.
- Eficácia no Gemba – O foco de atuação deve ser sempre o local onde se acrescenta valor, significando o terreno, o chão de fábrica (em japonês, gemba);
- Envolvimento das pessoas – Participação ativa de todas as pessoas da organização, incluindo todos os departamentos e níveis de gestão, em *workshops* e ações de melhoria;
- Gestão visual – Recurso a meios visuais, imagens, gráficos e cores de modo a identificar rapidamente ações que geram valor acrescentado e ações que não geram valor acrescentado, bem como melhorar a validação de processos, colaboração e

organização das equipas, pretendendo que seja rápido o reconhecimento de desvios, face aos resultados propostos.

Os objetivos da metodologia Kaizen podem ser divididos em três categorias: crescimento, qualidade, custo e entrega (QCD, em inglês *Quality*, *Cost*, *Delivery*) e motivação (Kaizen Institute, 2018a).

A primeira categoria, o crescimento, tem o seu principal enfoque no aumento das vendas e no desenvolvimento de novos produtos e ideias, tendo sempre subjacente um crescimento do valor gerado para o cliente. Nesta categoria é fundamental a análise do indicador *time to market*, que traduz o tempo que um produto ou serviço demora a estar no mercado desde que é idealizado, sendo o pretendido a minimização deste período.

No que diz respeito à QCD, esta deve ser sempre definida tendo em conta os requisitos do cliente, sendo que melhorias ao nível da qualidade traduzem-se em satisfação do cliente. Melhorando a eficiência dos recursos consegue-se uma diminuição dos custos e melhorando a eficiência do fluxo, obtêm-se melhores níveis de serviço e entrega.

Por fim, a motivação contempla objetivos ao nível do envolvimento e motivação de todas pessoas que fazem parte das organizações, tendo por base uma alteração de cultura, focada na prática da melhoria contínua.

2.2 Kaizen *Business System* (KBS)

O KBS é um conjunto de princípios, modelos, ferramentas e processos de melhoria cujo objetivo é criar valor para a empresa a longo prazo. O sistema baseia-se nos princípios anteriormente referidos: crescimento, qualidade, respeito pelas pessoas e eficiência quer do fluxo quer dos recursos (Kaizen Institute, 2018a). Na Figura 4 é possível observar em detalhe o KBS.

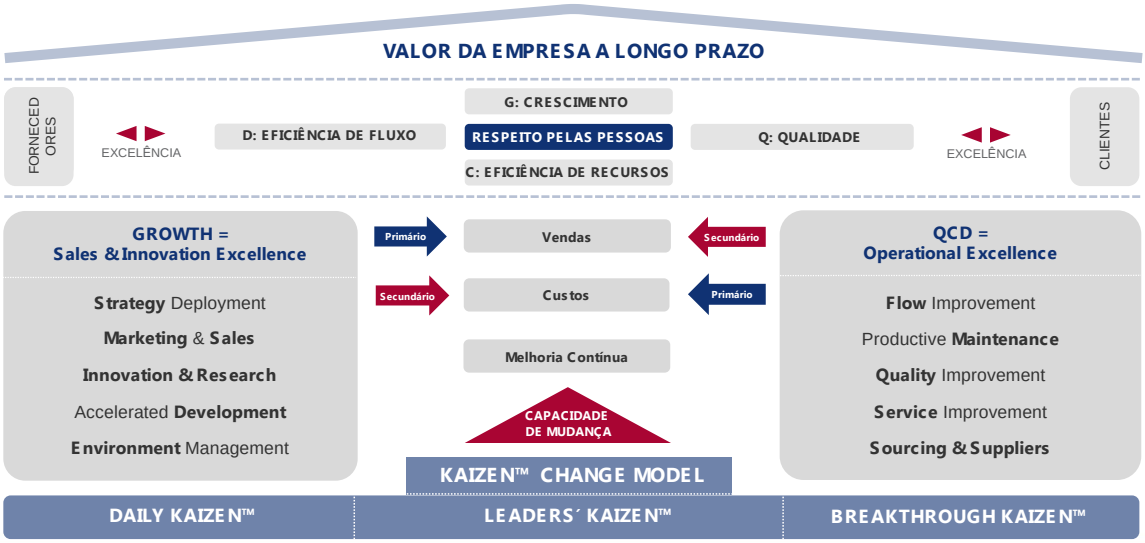


Figura 4 - Kaizen *Business System* (KBS). Retirado de Kaizen Institute (2018b).

As ferramentas do KBS podem ser divididas em dois grandes grupos. Por um lado, os *Growth Tools*, orientados para o aumento de vendas, e contemplando ferramentas para a melhoria do processo de investigação e desenvolvimento, e ainda marketing e vendas. Por outro lado, no

âmbito da QCD, onde o intuito principal é a diminuição de custos existem diversas vertentes (Kaizen Institute, 2018a):

- Melhoria do fluxo;
- Manutenção produtiva;
- Melhoria da qualidade;
- Melhoria do serviço;
- Fornecedores.

De modo a sustentar a implementação do KBS e assegurar a prática da melhoria contínua é fundamental colocar em prática o Kaizen *Change Model*. Este modelo contempla três pilares:

- *Daily* Kaizen – Neste programa o objetivo principal é a mudança de comportamentos e cultura no gemba. O líder de equipa consegue, através da utilização das ferramentas e metodologias deste programa, desenvolver os membros da sua equipa e sustentar as melhorias alcançadas;
- *Leaders'* Kaizen – O pilar de Kaizen de líderes encontra-se focado nos níveis superiores das organizações cujo objetivo é desenvolver líderes Kaizen, capazes de liderar pelo exemplo através de corretos comportamentos de liderança e sistemas de gestão adequados;
- *Breakthrough* Kaizen – Obter resultados de dois dígitos, ano após ano, é o objetivo que se pretende alcançar com o *Breakthrough* Kaizen (Kaizen disruptivo). Através de uma cultura de resolução de problemas, com eventos Kaizen, é possível implementar novos paradigmas e melhorar os processos existentes.

2.3 Gestão da Qualidade Total (TQM)

A Figura 5 esquematiza os cinco níveis presentes no modelo do TQM. Em cada um deles é identificado um objetivo, sendo que apenas a partir do nível 1 se começam a usar determinadas ferramentas com vista a melhorar a qualidade da organização. Os níveis representam o grau de crescimento de maturidade da organização, bem como desafios distintos.

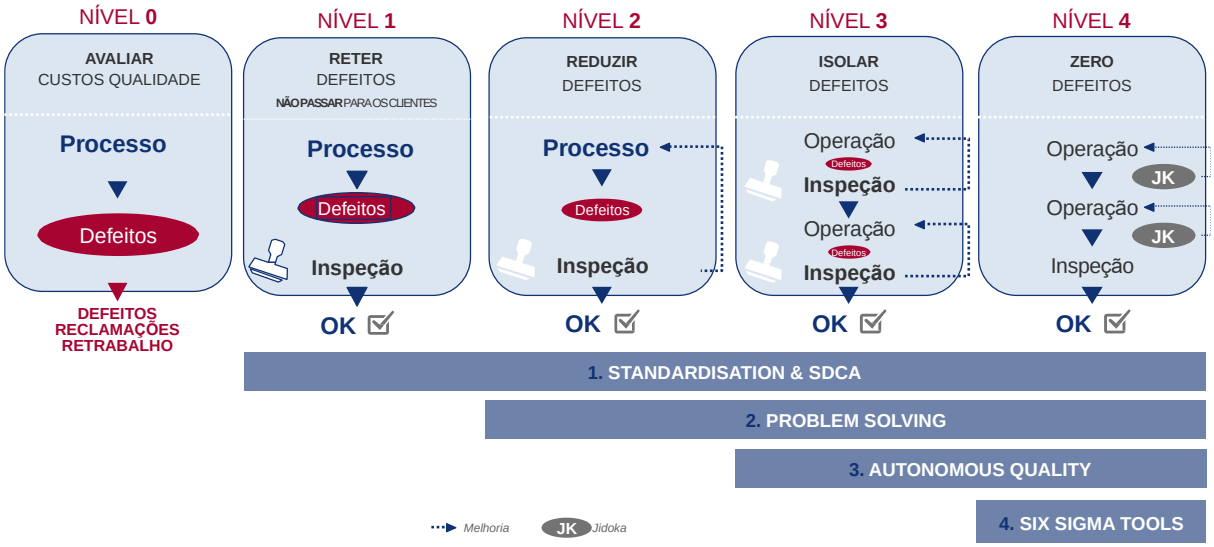


Figura 5 – *Gestão da Qualidade Total* (TQM). Retirado de Kaizen Institute (2018b).

2.3.1 Nível 0 – Avaliar custos de qualidade

O nível 0 do TQM corresponde ao nível mais básico em que uma organização se pode encontrar. Nesta situação a entidade não tem controlo sobre os artigos defeituosos que produz e estes chegam ao cliente, não havendo sensibilização para o tema da qualidade. É crucial entender os custos associados à não-qualidade, bem como a sua evolução, tendo em conta o momento em que a não conformidade é detetada.

Diversas organizações classificam os custos relacionados com a qualidade em quatro categorias distintas (Gomes, 2004, Juran, 1951):

- Custos de falha interna – Custos que estão associados a não conformidades relativas aos requisitos, implícitos ou explícitos, quer dos clientes internos, quer dos clientes externos. Estas falhas/defeitos são detetadas antes de chegarem aos clientes. Retrabalho, sucata ou análise de falhas são exemplos de algumas subcategorias associadas ao insucesso em cumprir com as necessidades e requisitos do cliente. Por outro lado, a variabilidade das características do produto, atividades sem valor acrescentado e incumprimento das melhores práticas associadas ao processo, representam custos associados a processos ineficientes;
- Custos de falha externa – Custos relacionados com defeitos/falhas detetados após o produto ter sido recebido pelo cliente. Custos de garantia, indemnizações, devoluções de produtos são exemplos de custos quando os requisitos do cliente não são cumpridos e a deteção é tardia. Existe ainda a possibilidade de perda de vendas futuras devido a falhas detetadas pelos consumidores;
- Custos de inspeção – Custos incorridos de maneira a determinar o grau de conformidade com requisitos do cliente. Inspeção e testes na fase inicial, intermédia e final do processo são exemplos de ações que acarretam este tipo de custos. Avaliação de stocks de modo a verificar o estado de degradação dos produtos e manutenção de equipamentos de teste de modo a que estes permaneçam calibrados são exemplos de outros tipos de custos desta categoria;
- Custos de prevenção – Custos associados a ações para minimizarem os restantes três tipos de custos acima identificados. São exemplo destes custos: avaliação da qualidade dos fornecedores, formação, controlo do processo, inspeção e testes de modo a determinar o estado do processo.

2.3.2 Nível 1 – Reter os defeitos

O nível seguinte tem como objetivo reter os defeitos, não os deixando passar para o cliente, podendo este ser externo ou interno. A utilização de *standards* torna-se essencial neste momento. É através deles que se consegue a estabilidade do processo, previnem-se erros, aumenta-se a polivalência da equipa e tornam-se a base das auditorias e diagnósticos. Os *standards* são ainda fundamentais na consolidação e sustentação das melhorias implementadas (Imai, 1997).

De modo a conseguir a normalização dos processos e tarefas é utilizado o ciclo SDCA (*Standardize, Do, Check, Act*). Este corresponde a um conjunto de procedimentos que têm como objetivo a normalização de tarefas e procedimentos de forma a eliminar a instabilidade e variedade de critérios (Smadi, 2009), sendo composto pelas seguintes etapas:

- *Standardize* – Planear *standards;*

- *Do* – Documentar e aprovar os *standards*, praticar e treinar;
- *Check* – Avaliar a viabilidade e conformidade do *standard*;
- *Act* – Corrigir e melhorar o *standard*.

Os *standards* devem cumprir com as seguintes características (Kaizen Institute, 2018b):

- Único – Apenas deve existir uma única maneira de realizar uma determinada tarefa, sendo que se deve adotar o melhor procedimento conhecido até ao momento de elaboração do *standard*;
- Simples – Deve ser usada linguagem simples, de modo a que seja facilmente interpretado;
- Visual – Devem ser usadas fotografias, esquemas e imagens sempre que possível, usando texto apenas como forma de suporte;
- Acessível – Deve estar acessível a todos os utilizadores e junto aos locais onde são usados;
- Claro – Não deve ter interpretações alternativas.

Segundo o Kaizen Institute (2018b), os *standards* podem ser classificados em quatro categorias distintas:

- *One point lesson* – Documento de apenas uma página sobre uma tarefa específica com pequenas frases e gestão visual, devendo estar colocado junto do local onde a tarefa é executada;
- *Standard* de execução – Documento desenvolvido sempre que uma tarefa é complexa e contém um fluxo com ramos. É definida uma sequência de ações bem como a sua frequência e requisitos;
- *Checklist* – Lista de tarefas e ações de modo a classificar o estado de qualidade de um produto ou serviço;
- *Standard* de inspeção – Regras com apoio de gestão visual de modo a determinar a conformidade de um produto ou serviço. Contém uma representação da situação correta e da situação incorreta. Este tipo de *standard* não é exclusivo da inspeção final, podendo ser usado em qualquer fase do processo.

2.3.3 Nível 2 – Reduzir os defeitos

O intuito do nível 2 é a redução de defeitos através da resolução de problemas e melhoria da situação atual. Serão apresentadas duas metodologias para esse mesmo fim.

Ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*)

O ciclo PDCA, esquematizado na Figura 6, é uma ferramenta de melhoria que procura a manutenção e aperfeiçoamento dos *standards* (Imai, 2012). Este ciclo é constituído por quatro etapas:

- *Plan* – É nesta etapa que é definido um estado alvo bem como um plano de ações a colocar em prática para atingir o objetivo pretendido;
- *Do* – Consiste na implementação das ações previamente definidas;

- *Check* – Esta fase constitui uma análise das implementações de modo a perceber se estão a surgir as melhorias planeadas;
- *Act* – A última fase consiste na normalização dos novos procedimentos, de forma a prevenir que o problema original ocorra de novo ou definir metas para novas melhorias.

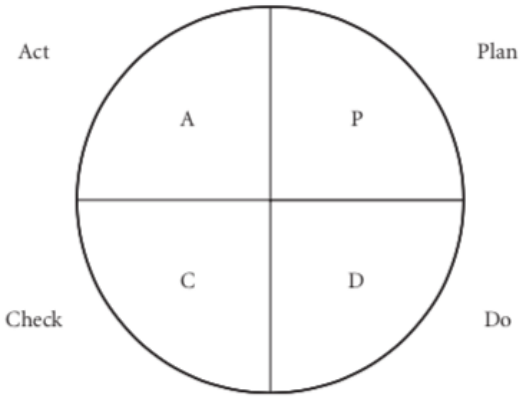


Figura 6 - Ciclo *Plan Do Check Act* (PDCA). Retirado de Imai (2012).

KOBETSU

KOBETSU é uma metodologia de resolução estruturada de problemas que se desenvolve ao longo de nove etapas (Kaizen Institute, 2018b):

1. Clarificar o âmbito e o propósito – No primeiro passo define-se o âmbito e o propósito do trabalho a ser desenvolvido pela equipa que pretende solucionar um dado problema;
2. Observar o estado inicial – Uso de diversas ferramentas de modo a observar e caracterizar o estado inicial, como por exemplo o diagrama de Pareto. Este, materializa-se num gráfico de barras de frequência, ordenado de forma decrescente, com as barras de maior frequência a situarem-se à esquerda. É composto ainda por uma linha que soma as diversas frequências de modo a identificar fatores críticos que originam falhas ou defeitos (Wilkinson, 2006). A recolha de informação por parte das equipas e das pessoas envolvidas, de dados sobre o problema em questão e de material audiovisual que caracterize as etapas fundamentais do processo fazem ainda parte da caracterização e observação do estado inicial;
3. Definir o estado alvo – O estado alvo deve ser definido tendo em conta cinco características fundamentais S.M.A.R.T. (Lawlor e Jornyak, 2012):
    - Específico (*Specific*) – Definir uma área específica onde atuar;
    - Mensurável (*Measurable*) – Estabelecer uma métrica concreta para medir o progresso até ao objetivo final;
    - Atingível (*Attainable*) – Analisar se é exequível junto da equipa;
    - Relevante (*Relevant*) – Estudar o impacto que o objetivo tem na organização;
    - Temporal (*Time based*) – Definir um período temporal no qual se deve desenvolver o projeto.

4. Definir as causas raiz – Identificar as causas raiz com o auxílio de ferramentas como o diagrama de Ishikawa, também denominado de diagrama causa-efeito. É usado para determinar as causas que resultam num efeito que está a ser alvo de estudo. Agrupa as causas em diversas categorias, mão-de-obra, métodos, máquinas, materiais, métodos de medição e meio-ambiente. Estas categorias podem ser ajustadas e alteradas tendo em conta a situação em estudo (Tague, 2005);
5. Desenhar a solução – Depois das causas estarem identificadas, a equipa deve listar todas as ações que consideram solucionar o problema. Estas devem ser colocadas numa matriz que relaciona o esforço necessário e o impacto esperado;
6. Testar a solução – A equipa deve validar o sucesso de cada solução no gemba, sendo que, previamente, devem ser definidas quais são as soluções que podem ser testadas. Para cada teste de solução deve ser definido: um responsável para o teste, um processo ou tarefa que deverá ser normalizado, uma data limite para a execução, os recursos necessários, um critério de sucesso e a validação de todas as áreas envolvidas na resolução do problema;
7. Plano de ação – Desenvolver um plano composto por todas as ações a colocar em prática, atribuindo um responsável e uma data limite de execução. O plano de ações deve ser monitorizado de forma frequente;
8. Confirmar resultados e normalizar – Criação de *standards* e treino das equipas nos novos procedimentos com auxílio de uma matriz de competências que, de forma muito visual, indica o nível em que cada pessoa se encontra, sendo que o nível 0 representa que a pessoa não consegue desempenhar uma dada função ou tarefa; nível 1 indica que o funcionário já recebeu treino teórico e entende os princípios básicos; nível 2 é atribuído quando é capaz de desenvolver a tarefa com assistência; nível 3 quando é autónomo; e, por fim, o nível 4 quando a pessoa é capaz de treinar outros elementos;
9. Lições aprendidas e desdobramento – Registar as atividades que foram executadas com sucesso e as que não foram bem-sucedidas. Decidir se é possível aplicar as soluções implementadas em outras áreas ou situações similares.

2.3.4 Nível 3 – Isolar os defeitos

O objetivo do nível 3 do TQM é isolar os defeitos criados ao longo do processo, permitindo desse modo evidenciar onde estes ocorrem e não permitir que os clientes internos recebam, criem e enviem defeitos ao longo da cadeia de valor culminando no cliente final. De forma a alcançar estes objetivos serão identificadas três metodologias distintas.

Poka-yoke

Foi na Toyota que o conceito de zero defeitos e as técnicas *poka-yoke* tiveram origem. O termo *poka-yoke* tem origem japonesa e significa "à prova de erro". O seu funcionamento baseia-se na eliminação das causas dos defeitos e, quando possível, uma inspeção simples e pouco dispendiosa do produto de modo a determinar se este cumpre os requisitos de qualidade – ausência de defeitos (Fisher, 1999).

Segundo Robinson (1997), as características básicas para um bom funcionamento de um *poka-yoke* são as seguintes:

- São simples e baratos, porque caso o seu uso seja complexo ou dispendioso não vão ser benéficos para a empresa;
- São parte do processo;

- São colocados nos locais onde as falhas e os defeitos ocorrem, permitindo uma rápida e natural atuação dos operadores tornando possível a correção da falha.

Jidoka

Jidoka é um mecanismo de automação criado com o objetivo de aumentar a qualidade do processo. O mecanismo é capaz de detetar um problema e interromper a produção automaticamente, impedindo assim o incorreto funcionamento da mesma e a respetiva produção de defeitos (Ohno, 1988). A paragem da linha torna evidente a necessidade de ser tomada uma ação corretiva.

Matriz da auto qualidade

A matriz da auto qualidade é uma ferramenta que torna visível o nível de qualidade de cada fase do processo (Kaizen Institute, 2018b). Permite estabelecer uma relação entre o momento em que o defeito ou falha é detetado e o momento onde esse defeito ou falha foi gerado. A Figura 7 demonstra um exemplo dos elementos que devem estar presentes numa matriz de auto qualidade. O objetivo desta representação é a fácil identificação e priorização de defeitos que devem ser analisados e corrigidos. É vantajosa uma deteção do defeito o mais próximo possível da fase em que foi criado, sendo idealmente detetado no momento da sua criação.

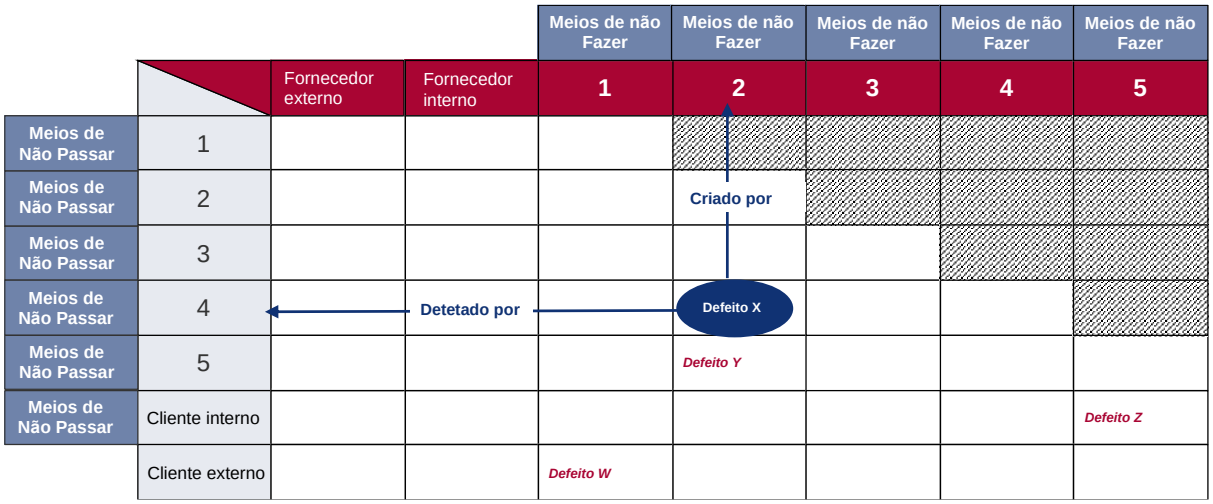


Figura 7 - Matriz da auto qualidade. Retirado de Kaizen Institute (2018b).

2.3.5 Nível 4 - Zero defeitos

O nível 4 da escala do TQM é o patamar em que todas as organizações ambicionam posicionar-se e, para alcançar esse nível de excelência, é por norma colocada em prática a metodologia *Six Sigma*. Neste patamar o objetivo é alcançar zero defeitos.

Six Sigma é uma metodologia que surgiu em 1985, na Motorola (Estados Unidos da América), como resposta à constante pressão da indústria eletrónica japonesa, e que se materializou numa melhoria dos níveis de qualidade (Linderman *et al.*, 2003) como fator diferenciador.

Este método atua tendo em conta duas diferentes perspetivas. Uma perspetiva estatística, em que o termo "*six sigma*" significa ter um registo de defeitos inferior a 3,4 por milhão, onde sigma (σ) representa o desvio-padrão que, por sua vez, é uma medida de variabilidade (entre muitas outras) (Kwak e Anbari, 2006) e uma outra perspetiva, a do negócio, onde o foco incide numa estratégia para melhorar a competitividade da empresa, a eficiência e eficácia de todas as operações, com o objetivo de cumprir com as expectativas e requisitos dos clientes.

A distinta abordagem *Six Sigma* à melhoria do processo e da qualidade é feita com base na metodologia DMAIC (*Define*, *Measure*, *Analyse*, *Improve*, *Control*), composta por cinco etapas interligadas, que permitem às organizações resolver problemas e melhorar os seus processos (Kumar e Kaushish, 2015). As cinco fases podem ser definidas da seguinte forma (Kwak e Anbari, 2006, McClusky, 2000, Stamatis, 2004):

- Definir (*Define*): A primeira etapa desta metodologia inicia-se com a definição do papel da equipa, o âmbito e os limites do projeto bem como a identificação do cliente e as suas expectativas e exigências;
- Medir (*Measure*): Selecionar as métricas necessárias e recolher dados de forma a caracterizar o estado atual, assim como também comparar e monitorizar o impacto de alterações efetuadas;
- Analisar (*Analyse*): Na fase de análise é crucial a identificação das causas-raiz de defeitos e determinar as fontes de variação do processo e priorizar oportunidades para melhorias futuras;
- Melhorar (*Improve*): Nesta etapa são selecionadas e implementadas soluções tendo como objetivo eliminar ou minimizar os efeitos provenientes das causas-raiz anteriormente definidas;
- Controlar (*Control*): A última fase consiste na criação de estratégias de controlo e monitorização do processo, de modo a garantir a estabilidade e a permanência dos resultados obtidos.

2.4 Círculos de Qualidade

Círculos de qualidade são atividades orientadas para a melhoria da qualidade das organizações, com base na partilha de ideias por parte dos colaboradores. São reuniões periódicas de pequenos conjuntos de pessoas que trabalham em atividades semelhantes e onde lhes é dada a oportunidade de discutir e resolver problemas de qualidade que afetam o seu dia-a-dia (Gomes, 2004).

Os círculos de qualidade devem ser realizados regularmente de forma a identificar melhorias nas áreas em questão. Esta abordagem reconhece a valor das pessoas nas organizações e o importante contributo que os funcionários podem representar em termos de conhecimento do processo e das oportunidades de melhoria. Outros benefícios desta iniciativa são mudança de atitude dos funcionários, criação de espírito de equipa e um ambiente de trabalho positivo (Raisinghani *et al.*, 2005).

3 Análise da Situação Inicial

O ponto de partida do projeto centra-se na análise e caracterização da situação inicial. Tratando-se de um processo produtivo complexo e com inúmeras particularidades, é importante ter um conhecimento profundo do mesmo de forma a compreender em que fases será mais vantajoso atuar. Através da metodologia de *Value Stream Mapping (VSM)*, que permite identificar as todas as ações de um processo, tanto as de valor acrescentado como as de não valor acrescentado (Rother e Shook, 2003), foi possível mapear a cadeia de valor e analisar os fluxos de materiais, bem como os fluxos de informação.

Foi realizado um estudo aos defeitos identificados no processo, sendo que cada um deles foi alvo de uma análise pormenorizada. Nesta análise é importante identificar as causas raiz dos defeitos, bem como sinalizar as etapas do processo produtivo onde essas causas podem ocorrer. Por último, é crucial avaliar o peso de cada defeito na rejeição total, assim como a sua evolução ao longo do período em análise.

3.1 Mapeamento do processo produtivo

A Figura 8 esquematiza o fluxo de operações realizadas no caso de as peças serem escovadas. Nos casos em que o acabamento pretendido é brilhante, a escovagem não é realizada pelo que seguem diretamente para a fase seguinte do processo. Foi feito um acompanhamento presencial de todas as fases de modo a compreender as tarefas executadas e identificar oportunidades de melhoria. As diferentes etapas serão analisadas detalhadamente em seguida.

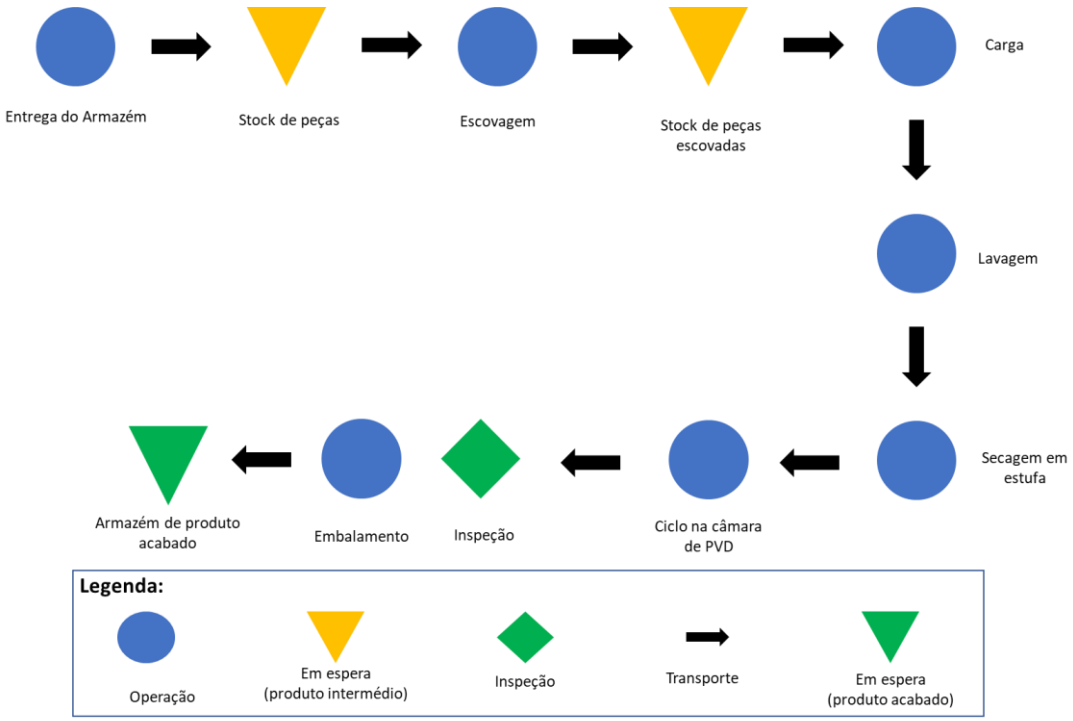


Figura 8 - Mapeamento do processo produtivo de peças escovadas.

3.1.1 Entrega do armazém

O processo inicia-se com um pedido de peças ao armazém, sendo este realizado três vezes por dia. O *picking* no armazém é feito à referência, podendo ser necessário o manuseamento de peças sempre que a quantidade pedida não seja múltipla do número de unidades da caixa de fornecedor.

A entrega na zona de escovagem é feita em euro-paletes, que contêm as caixas originais ou as peças em compartimentos de esferovite ou caixas de plásticos. Importa referir que o transporte fora da caixa original representa um elevado risco, uma vez que a peça pode ser danificada durante o transporte.

3.1.2 Escovagem

A escovagem é uma fase do processo produtivo onde não passam todas as peças, uma vez que as peças que vão ter um acabamento brilhante avançam diretamente para a fase seguinte. O objetivo desta fase do processo é a remoção da camada superficial - a cromagem, de modo a conferir à peça um acabamento escovado. A Figura 9 ilustra as diferentes camadas da peça, sendo que o operador apenas deverá remover material das camadas compostas por níquel e crómio.

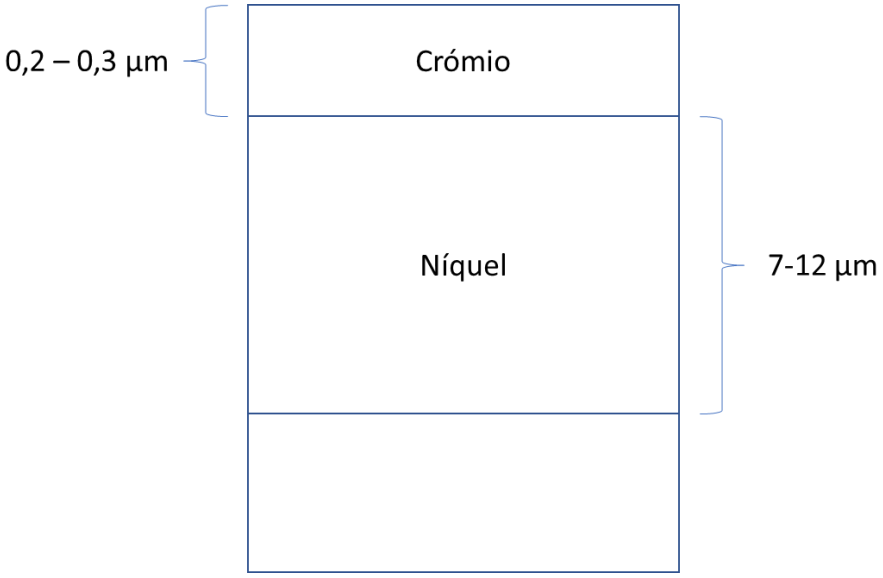


Figura 9 - Esquema de camadas das peças.

Este é um procedimento manual e muito dependente da experiência do funcionário. As peças processadas têm formas muito diferentes e consequentemente complexidades de escovagem muito distintas. Dessa forma, cabe ao líder de secção alocar os funcionários mais experientes à escovagem de peças mais complexas.

A Empresa Cliente dispõe de um total de 20 postos de escovagem (Figura 10), estando um funcionário alocado a cada um deles. As escovas são de pano, têm um movimento rotativo, com a velocidade a ser ajustada tendo em conta a peça que está a ser escovada e o grau de desgaste da própria escova. É colocada uma pasta abrasiva na escova para permitir o tratamento das peças.

Cada funcionário escova uma referência de cada vez, sendo que, para iniciar o procedimento, é necessário recolher o desenho da peça, que contém as direções de escovagem assinaladas. Em alguns casos é ainda necessário selecionar as ferramentas de auxílio à escovagem, nomeadamente nos casos em que as peças são de reduzida dimensão, difícil manuseamento, ou ainda quando as direções de escovagem assim o exigem.

As peças são desembaladas da caixa para serem escovadas, sendo que imediatamente após terminar esta fase devem ser novamente embaladas ou colocadas em módulos de esferovite, devidamente acondicionadas, para que sejam transferidas para a próxima etapa, a carga.

As camadas de crómio e de níquel não são constantes ao longo da peça, sendo mais reduzidas em pontos curvos da peça, o que torna mais delicado o processo de escovagem nessas áreas. Por outro lado, nas arestas da peça a ação abrasiva da escova é mais intensa e consequentemente a remoção do material é mais acelerada. A escovagem excessiva remove as camadas de crómio e níquel deixando o substrato sem proteção, implicando assim que a peça deixe de estar protegida contra a corrosão.

Durante o acompanhamento presencial desta fase do processo identificaram-se diversos casos de operários com falta de experiência e conhecimento necessário para escovar as peças que lhes tinham sido alocadas, sendo que existiam desenhos sem as indicações de escovagem bem assinaladas. Identificou-se ainda uma baixa sensibilização para a qualidade por parte dos funcionários, sendo o foco no número de peças escovadas, independentemente do estado em que eram entregues na próxima fase do processo, não havendo uma avaliação crítica da peça após esta ser escovada.



Figura 10 - Posto de escovagem.

3.1.3 Carga e lavagem

A fase seguinte do processo produtivo envolve a colocação das peças previamente escovadas ou brilhantes, em estruturas de ferro, suspensões, como pode ser observado na Figura 11, de forma a serem posteriormente colocadas nas estufas e nas câmaras de PVD. A mesma referência tem apenas uma suspensão designada, no entanto o número de peças que são carregadas varia de acordo com o programa a ser executado na câmara de PVD.

No momento inicial do projeto existiam um total de 145 estruturas de ferro distintas. Durante o acompanhamento presencial verificou-se a ausência de instruções de trabalho, levando a que fossem usadas suspensões não adequadas. O uso de suspensões alternativas pode ter um impacto negativo, resultando em diversos defeitos, analisados em detalhe mais à frente.

Nesta fase do processo existem quatro postos de trabalho. Tal como na fase de escovagem, a preocupação em não passar defeitos para a próxima fase era reduzida, não havendo uma

análise da peça quando esta era colocada na suspensão. As suspensões carregadas com peças são colocadas em cestos com capacidade máxima de quatro.



Figura 11 - Suspensão com peças.

O próximo passo é a colocação dos cestos na linha de lavagem automática. A Figura 12 esquematiza as cinco etapas da lavagem a que as peças são submetidas, de forma a remover gorduras e sujidades.

Na primeira fase realiza-se um processo de remoção de gorduras através de ultrassons e uma lavagem em meio alcalino. De seguida é feita uma lavagem intermédia, seguindo-se uma preparação da superfície da peça através da lavagem com uma solução ácida que remove componentes inorgânicos e ativa a superfície da peça. Posteriormente, o cesto é transferido para um tanque onde o propósito da lavagem é a remoção do ácido usado na etapa anterior. Por fim é usada água desmineralizada em três tanques consecutivos, com condutividade decrescente e um grau de pureza crescente.

Um dos elementos da equipa que realiza a colocação das peças nas suspensões é responsável por selecionar o programa de lavagem adequado, sendo que as composições químicas dos meios de lavagem variam, tendo em conta o material e se as peças foram escovadas ou não. Isto porque as peças escovadas estão mais vulneráveis à atuação do ácido por lhes ter sido removida parte da camada protetora de crómio e níquel.



Figura 12 - Fases da lavagem automática.

3.1.4 Estufa e câmaras de PVD

Após a saída dos cestos da lavagem automática as suspensões devem ser retiradas e colocadas em mesas verticais. Estas estruturas têm capacidade máxima de 18 suspensões, sendo que este número pode variar tendo em conta o tamanho e a geometria das peças em questão. O processo de transferência das suspensões para as mesas verticais é feito por um operário que faz uma breve inspeção em busca de marcas de água provocadas pelo processo de lavagem.

Após a mesa estar completa, esta é colocada numa das 8 estufas existentes. O operário deve ter em conta o tipo de material em questão, uma vez que a temperatura e o período de permanência na estufa é variável. O processo de secagem na estufa tem como objetivo garantir que as peças estão totalmente secas quando entram na câmara de PVD, uma vez que a existência de água durante o ciclo compromete a correta deposição das partículas no substrato, condição necessária ao sucesso do revestimento da peça.

Após o tempo de estufa ter sido concluído, numa ótica de tempo de permanência mínimo, as mesas verticais são transportadas para as câmaras de PVD, existindo um total de 5 câmaras de PVD, conforme a Figura 13. A duração do ciclo no qual o material é depositado sobre as peças é de aproximadamente duas horas, quando estamos perante peças em que será aplicada cor e cerca de uma hora no caso das peças em que não existe alteração da cor.



Figura 13 - Câmara de PVD com mesa vertical com peças.

Após o ciclo ter terminado, todas as suspensões são retiradas da mesa vertical e são transferidas para mesas de transporte horizontais, para, posteriormente, prosseguirem para a última fase, a inspeção e embalamento.

3.1.5 Inspeção e embalamento

A etapa final do processo é a inspeção e embalamento, onde cada peça é analisada até ao mínimo pormenor. O procedimento inicia-se com a identificação da referência que vai ser analisada no sistema de modo a que este indique qual vai ser o compartimento a utilizar.

De seguida é feita a identificação das zonas A, B e C da peça. A zona A da peça é caracterizada por uma forte exposição ao cliente, pelo que, a presença de defeitos nessa zona motiva uma rejeição imediata da peça. Por outro lado, as zonas B e C da peça são zonas com menos exposição, o que leva a que, em certos casos, a presença de defeitos não implique a rejeição da peça. A Figura 14 apresenta uma peça com as diferentes zonas assinaladas.

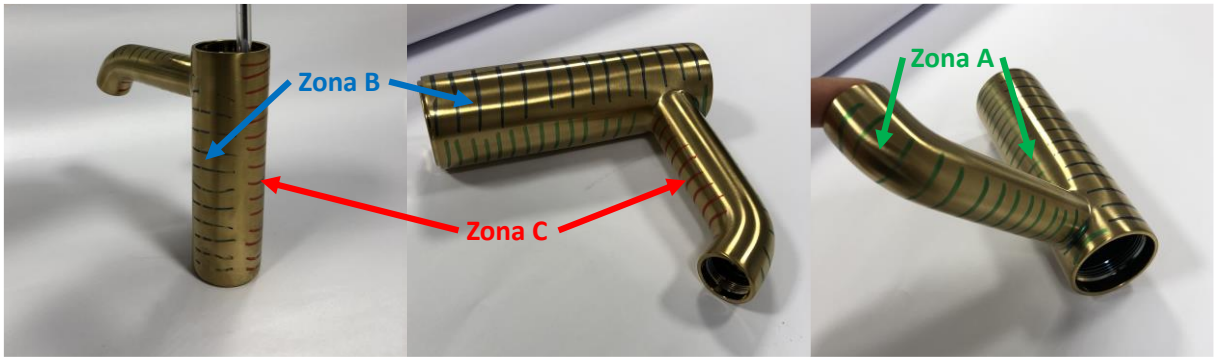


Figura 14 - Peça com zonas A, B e C assinaladas.

3.2 Caracterização dos defeitos

Dano Mecânico

A Figura 15 contém dois exemplos de peças que foram rejeitadas devido a dano mecânico. O defeito mecânico corresponde a inclusões e riscos na superfície das peças. A ocorrência deste defeito pode ser proveniente de qualquer fase do processo, sempre que exista manuseamento da peça, seja a colocar ou a retirar a peça da suspensão ou seja no transporte entre duas etapas do processo. A colocação de forma indevida da peça na suspensão, o uso de suspensões alternativas e o desgaste das mesmas também poderá originar este defeito, uma vez que durante o processo de deposição de material sobre o substrato, dentro das câmaras de PVD, a suspensão sofre uma rotação, o que poderá provocar o embate das peças com a estrutura da câmara e consequentemente a superfície da peça ser danificada.

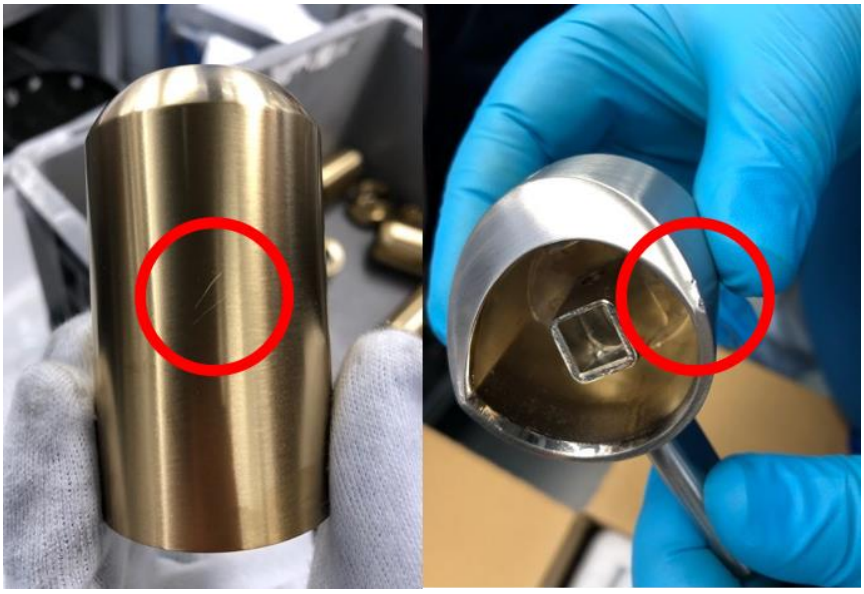


Figura 15 - Peças com dano mecânico.

Falta de PVD

Uma peça é rejeitada com falta de PVD sempre que apresenta falhas de deposição superiores a 0,3 milímetros, uma vez que se considera que caso a falta de deposição seja inferior a esse valor não será percetível para o cliente e não compromete as propriedades do revestimento (cf. Figura 16). A deposição não ocorre com sucesso quando a peça apresenta sujidade ou existe alguma irregularidade no decorrer do ciclo e a máquina tem de ser parada. A presença de água dentro da câmara de PVD origina a desgaseificação da mesma, fazendo com que não haja aderência do material à peça.



Figura 16 - Peça com falta de PVD.

Fornecedor

Uma peça é rejeitada com defeito de fornecedor nos casos em que o motivo da rejeição é imputado ao fornecedor. A espessura de cromado das peças inferior ao indicado, riscos no cromado da peça, peças que contêm furos com gordura, ou picados na superfície da peça são alguns dos exemplos dos motivos que levam à rejeição da peça ao longo do processo, e que são reportados ao fornecedor, uma vez que este não garantiu os requisitos necessários das peças para que estas pudessem ser processadas.

Erro de escovagem

A Empresa Cliente faz a distinção de três motivos de rejeição devido a erros de escovagem, sendo que todas eles ocorrem na fase de escovagem da peça:

- Escovagem excessiva – Este tipo de defeito ocorre quando são removidas da peça as camadas de crómio e níquel, expondo o substrato. Desse modo, a proteção contra a corrosão torna-se inexistente nesses pontos da peça, conforme exposto na Figura 17.
- Escovagem brilhante – Em contraste com o defeito anteriormente referido, este consiste na falta de escovagem, o que leva a que a peça apresente um aspeto brilhante.
- Direção de escovagem errada / não uniforme – Os operários, no desenho da peça, têm assinalada a direção de escovagem que deve ser seguida. No caso de não cumprimento das indicações referidas a peça é rejeitada. O facto de a peça apresentar direções de escovagem não uniformes também leva a que esta seja rejeitada.



Figura 17 - Peça com escovagem excessiva.

Desvio de cor

O desvio de cor da peça ocorre devido à excessiva quantidade de peças colocadas na câmara ou à colocação em posições incorretas na suspensão. O desvio de cor ocorre em ambos os grupos de peças, uma vez que mesmo nas peças em que o processo de PVD não confere uma nova cor, estas podem apresentar diferentes tonalidades ao longo da peça. A Figura 18 ilustra uma peça em que ocorreu desvio de cor.



Figura 18 - Peça com desvio de cor.

Erro de revestimento

A Figura 19 contém um exemplo de uma peça que foi rejeitada devido a erro de revestimento, sendo que o aparecimento deste defeito advém da presença de gorduras na peça proveniente de manuseamento sem luvas e/ou da pasta abrasiva colocada na etapa da escovagem. A lavagem automática não é eficaz na remoção destas substâncias hidrofóbicas, sendo necessária a lavagem manual com solventes orgânicos (por exemplo, álcool).



Figura 19 - Peça com erro de revestimento.

Mancha

O uso de programas não adequados na linha de lavagem levam ao aparecimento de manchas brancas nas peças, conforme se pode observar na Figura 20.



Figura 20 - Peça com mancha.

Marca de água

A marca de água nas peças ocorre quando uma peça é mal colocada na suspensão e no processo de secagem fica visível uma mancha. Após o ciclo nas câmaras de PVD, a mancha é realçada. A Figura 21 evidencia este tipo de defeito.



Figura 21 - Peça com marca de água.

Deformado

A deformação das peças, de acordo com o ilustrado na Figura 22, ocorre devido a duas situações distintas. Por um lado, a colocação das peças em ciclos de estufa a temperaturas superiores à indicada, e, por outro, o uso de suspensões incorretas que pressionam as peças ao longo das etapas de lavagem, secagem em estufa e ciclos de aplicação de PVD. Essas pressões aliadas às temperaturas fazem com que as peças apresentem deformação.



Figura 22 - Peça deformada.

Marca de contacto

A rejeição devido a marca de contacto, conforme a imagem da Figura 23, ocorre quando a peça, após o ciclo de PVD, apresenta manchas azuis que são originadas pela falta de deposição. Essa falta de deposição deve-se à falta de exposição da peça ao arco elétrico, sendo que pode ocorrer por esta ter sido colocada de forma indevida na suspensão e por zonas da peça que, não devendo estar em contacto com a suspensão, na realidade estiveram, comprometendo a deposição.



Figura 23 - Peça com marca de contacto.

3.3 Análise da taxa de rejeição

A Figura 24 contém informação do peso de cada defeito no total de rejeição verificada em 2019, desde a semana 1 até à semana 9, não havendo distinção entre peças com cor e sem cor. Os dados de rejeição analisados foram recolhidos do sistema, onde sempre que uma peça é rejeitada é introduzida a referência e o defeito que origina a rejeição da peça.

O defeito causado por dano mecânico é o que mais se verifica, por levar à rejeição total de 17,53% no período em análise. O elevado valor de rejeição devido a dano mecânico advém do facto de este poder ocorrer em todas as fases do processo e da facilidade com que este é originado. Num momento em que a sensibilidade para o tema da qualidade é reduzida entre os colaboradores da organização, o cuidado necessário na movimentação e manuseamento das peças nem sempre é o adequado. Em contraste, as peças rejeitadas com defeito de marca de contacto representam apenas 1,65% do total de peças rejeitadas.

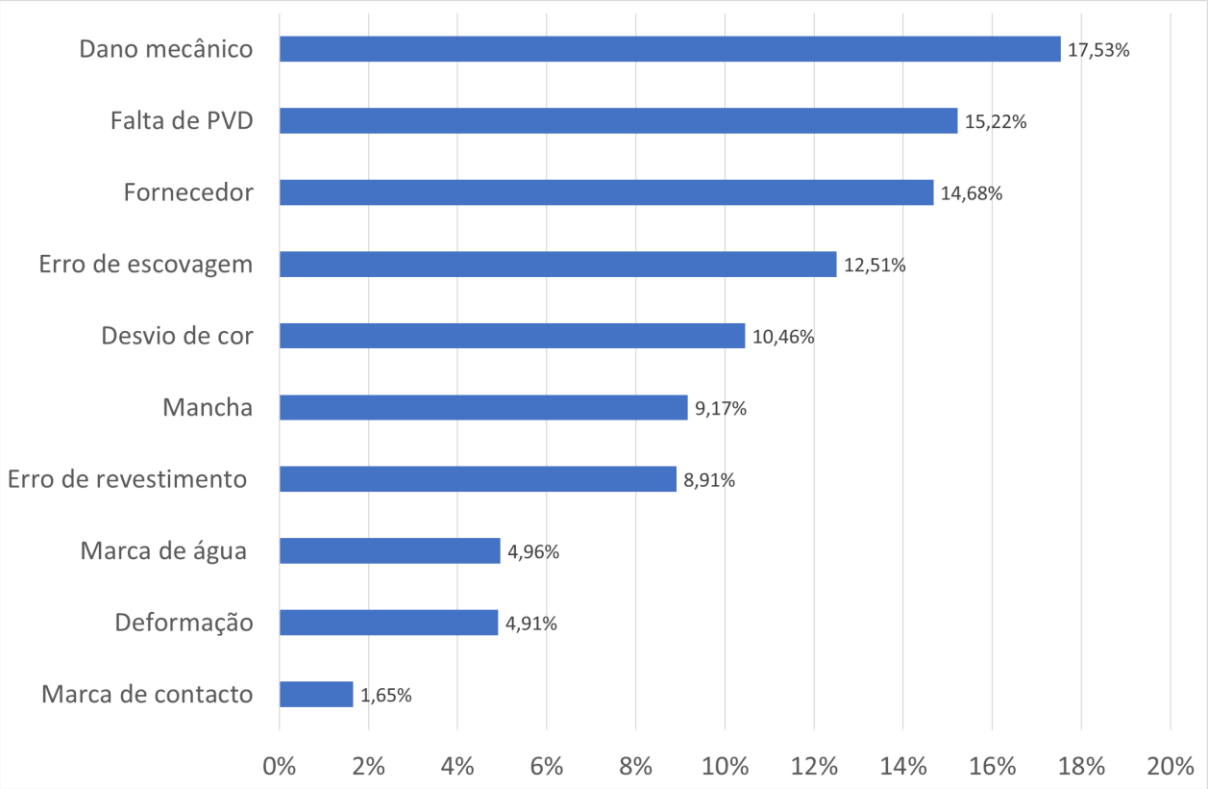


Figura 24 - Distribuição da rejeição total por defeito (Semana 1 – Semana 9).

Uma vez que o processo tem níveis de complexidade distintos, tendo em conta se é aplicada cor ou não à peça, é crucial analisar os defeitos com maior impacto, considerando cada uma das tipologias acima descritas. A Figura 25 contém informação de como se distribuíram os motivos de rejeição ao longo das primeiras 9 semanas do ano de 2019 em peças com cor e em peças sem cor.

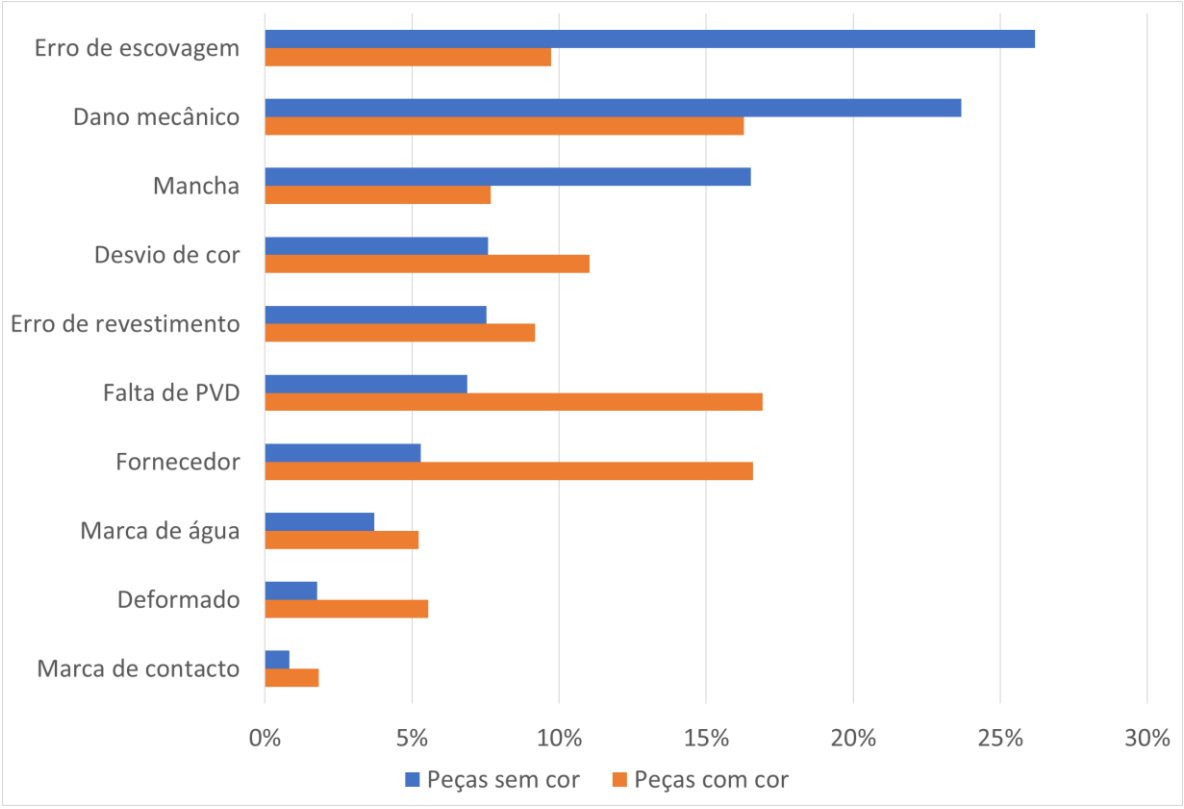


Figura 25 - Distribuição da rejeição total por defeito - peças com cor e sem cor (Semana 1 – Semana 9).

No que diz respeito às peças sem cor, os defeitos com maior representação são o erro de escovagem, o dano mecânico e mancha, sendo que o erro de escovagem representa mais de 25% do total de rejeição deste grupo de peças. As peças rejeitadas devido a estes três defeitos representam cerca de 66% da rejeição total de peças sem cor, durante as nove primeiras semanas do ano de 2019. A Figura 26 ilustra a evolução da taxa de rejeição semanal dos três defeitos com maior peso na rejeição de peças sem cor. Em todos os casos verifica-se uma tendência crescente.

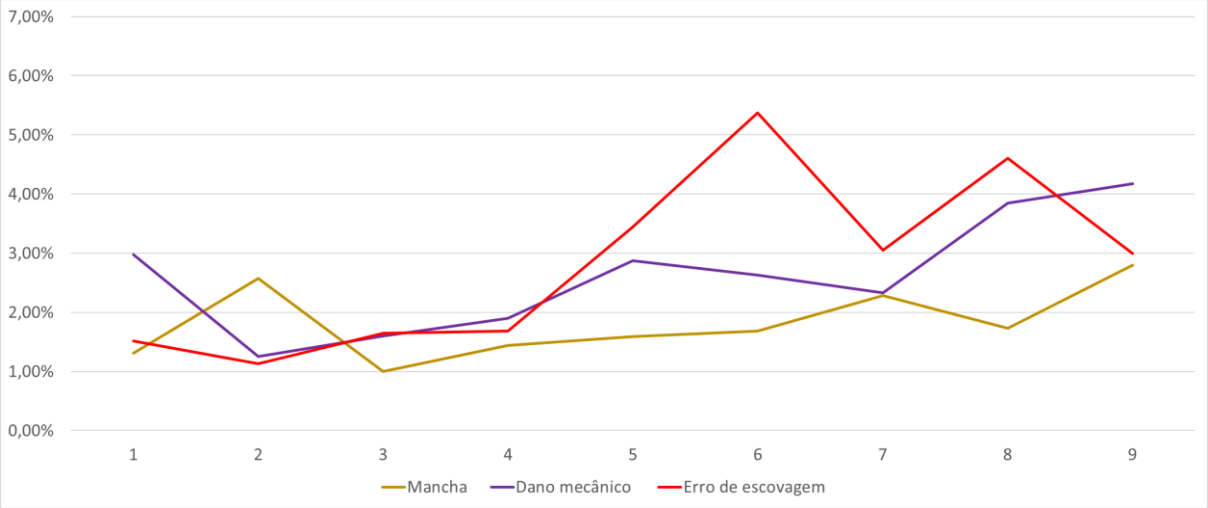


Figura 26 - Evolução dos defeitos mancha, dano mecânico e erro de escovagem em peças sem cor (Semana 1 - Semana 9).

Tal como no grupo de peças anteriormente analisado, também nas peças com cor o dano mecânico tem uma representação significativa, superior a 15%. Porém, o defeito de fornecedor e de falta de PVD têm um peso mais elevado face às peças sem cor. A Figura 27 contém informação de como evoluíram os três principais defeitos que motivaram a rejeição de peças com cor no decorrer das nove primeiras semanas do ano. A rejeição devido a falta de PVD registou valores muito díspares ao longo deste período analisado, 6,83% na semana 1 e 1,45% na semana 6.

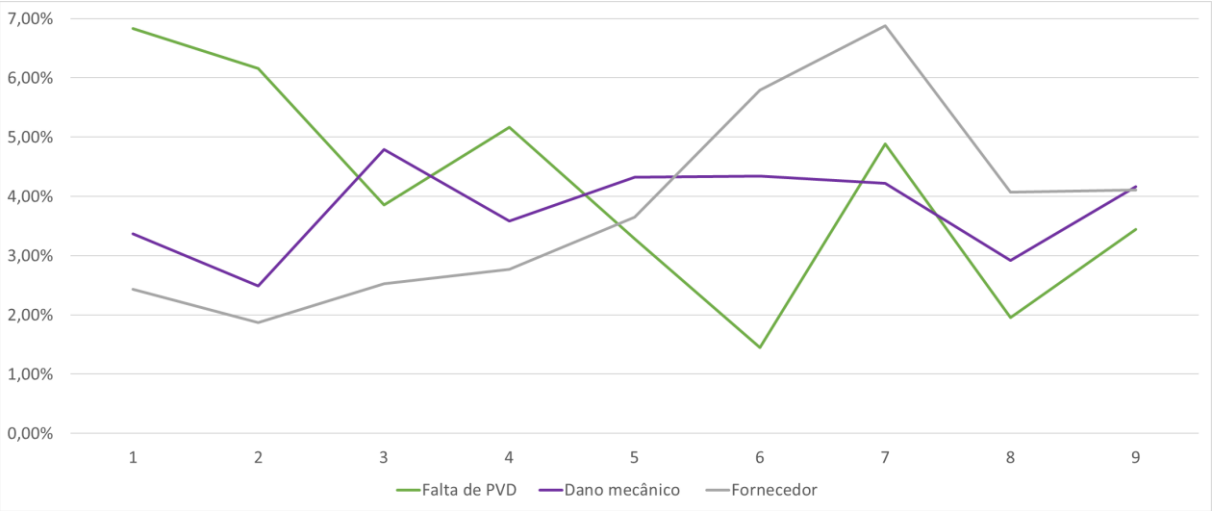


Figura 27 - Evolução dos defeitos falta de PVD, dano mecânico e fornecedor em peças com cor (Semana 1 - Semana 9).

A análise realizada focou-se nos defeitos identificados e não nas referências devido à baixa repetibilidade de produção ao longo das semanas e da grande variedade de referências produzidas.

4 Implementação de Soluções e Resultados

Após a análise da situação inicial descrita no capítulo 3, iniciou-se o processo de planeamento de soluções e posterior implementação. Os elevados níveis de rejeição registados e o acompanhamento de todo o processo revelou uma reduzida sensibilidade para a importância de não passar defeitos para o próximo cliente (interno), em detrimento de um grande foco no *output* que cada fase do processo registava no final do seu turno. Foram ainda detetadas falhas no processo, para as quais teriam de ser tomadas medidas estruturais.

Neste capítulo são descritas as ações de melhoria implementadas, sendo que o foco inicial foi a criação de uma cultura de não passar defeitos, bem como a criação de *standards*. As soluções implementadas tiveram como primeiro objetivo a estabilização do processo produtivo, avançando, numa fase posterior, para a resolução estruturada de problemas.

4.1 Estabilização do processo produtivo

4.1.1 Círculos de qualidade

Reuniões de turno

Com o objetivo de melhorar a comunicação entre o departamento de qualidade, líderes de equipa e operários, foram criados, no início dos turnos, círculos de qualidade. Reuniões de curta duração com o objetivo de sensibilizar para a importância da qualidade e de não passar defeitos para a etapa seguinte. A elevada rotação de pessoas e a contratação de novos elementos para as equipas fazia com que estes momentos fossem também de formação e inclusão dos novos membros.

Foram definidos três pontos de reunião: escovagem, carga e sala das câmaras de PVD. Em cada um destes locais estava presente um expositor de defeitos (cf. Figura 28). Em cada um dos expositores eram colocadas peças com a referência respetiva identificada, bem como o defeito que originou a sua rejeição e informações e/ou possíveis causas. Em cada um dos expositores eram colocadas peças em que os defeitos tinham ocorrido na respetiva área.

As reuniões de início de turno eram realizadas junto desses expositores e as peças eram analisadas pelos funcionários. Eram partilhados os motivos que levaram a que esses defeitos tivessem ocorrido, bem como boas práticas para evitar que ocorressem novamente. A seleção de peças a colocar no expositor é feita por parte do departamento de qualidade sempre que são detetadas situações de rejeição críticas.

As reuniões permitiam o envolvimento de todos, tendo sido identificadas oportunidades de melhoria por parte dos colaboradores.

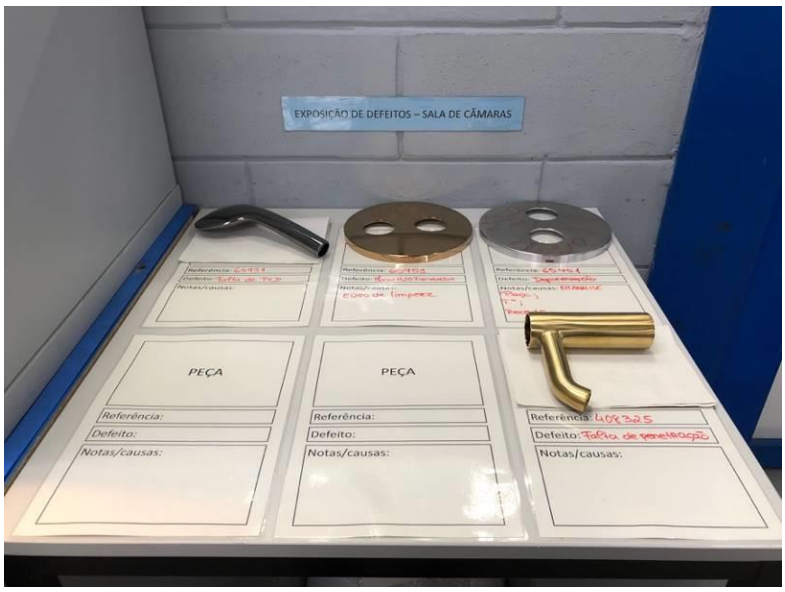


Figura 28 - Exposição de peças com defeitos.

Reuniões Semanais

Adicionalmente foram criadas reuniões semanais com presença de membros do departamento de qualidade, engenharia de processo, *team leaders* e operários, com uma ordem de trabalhos definida. O objetivo das reuniões consiste na análise dos dados da semana anterior, preparação da semana seguinte, bem como a resolução estruturada de problemas. Os tópicos abordados na reunião semanal são os seguintes:

- Análise da rejeição da semana anterior – É feita uma análise ao dia, sendo discutidos os valores elevados, procurando sempre identificar as causas raiz para esses valores e desencadeando posteriormente ações de melhoria;
- Análise do defeito da semana – É feita uma análise ao defeito que apresentou um maior aumento em relação à semana anterior, procurando-se perceber as causas raiz e elaborando-se contramedidas;
- Análise de peças com maior rejeição na semana anterior – Com base nos registos, selecionavam-se as peças que ao longo da semana anterior apresentaram uma taxa de rejeição mais elevada, sendo analisadas as possíveis causas e elaboradas ações corretivas;
- Análise das peças críticas acompanhadas – Discussão dos resultados obtidos das peças críticas sinalizadas e acompanhadas ao longo de todo o processo;
- Análise das auditorias de qualidade – São analisados os resultados das auditorias realizadas pelos responsáveis do departamento de qualidade, *team leaders* e pelo controlo de qualidade volante presente na escovagem;
- Revisão e preenchimento do plano de ações – São revistas as ações planeadas na reunião anterior e são definidas ações a colocar em prática durante a semana seguinte, sendo sempre identificado um responsável. Tendo em conta o plano de produção da semana seguinte, são ainda identificadas referências com elevada rejeição e boas práticas a partilhar nas reuniões de turno.

4.1.2 Controlo de qualidade volante e auditorias da qualidade

Controlo de qualidade volante

Após o mapeamento do processo, foi identificado apenas um ponto de controlo de qualidade em todo o processo, situado na última etapa, inspeção e embalamento. As peças aí analisadas ou eram aceites, e nesse caso eram embaladas, ou eram rejeitadas, não havendo hipótese de identificar e/ou corrigir o erro atempadamente.

No caso concreto do erro de escovagem, o defeito já tinha sido criado numa etapa muito precoce do processo, sendo a sua rejeição maioritariamente realizada na etapa final. A rejeição devido ao erro de escovagem apresentava valores crescentes desde a semana 2, como verificado na Figura 29, sendo que na semana 9 observou-se a rejeição de 3,78% das peças produzidas, peças com cor e sem cor.

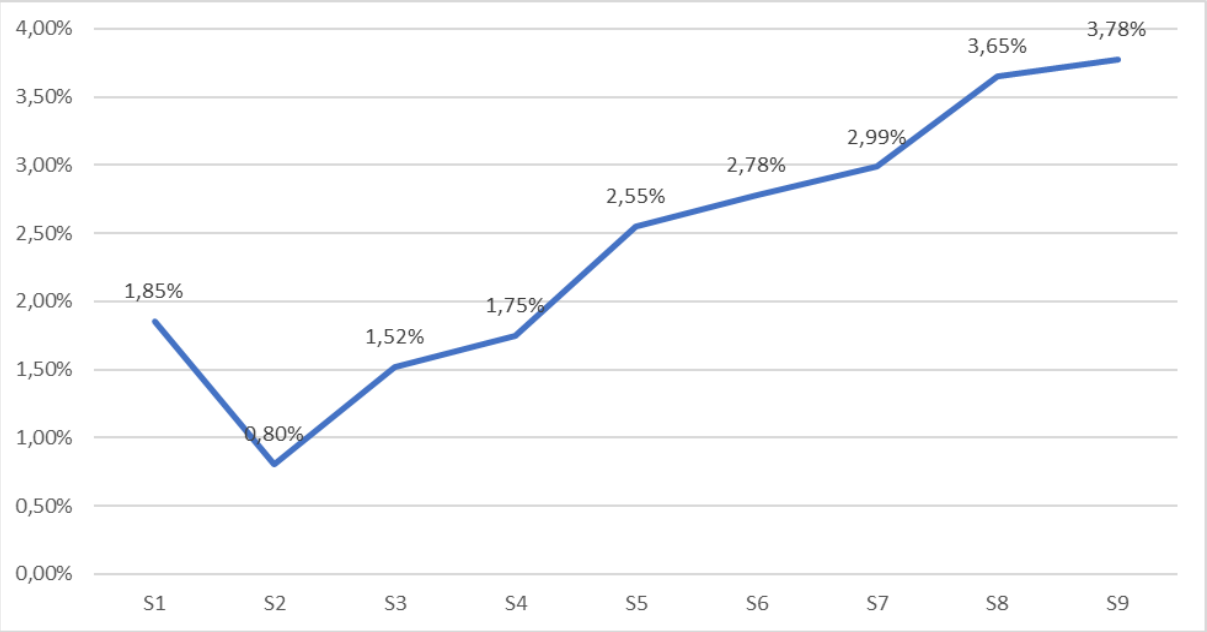


Figura 29 - Rejeição devido a erro de escovagem (Semana 1 – 9).

A proposta de adicionar um novo ponto de controlo de qualidade seria então numa fase do processo em que fosse possível não só prevenir o defeito, como fazer um processamento adicional da peça, de modo a corrigir o erro.

A fase do processo que mais vantagens apresenta para receber um controlo de qualidade permanente é a fase de escovagem. Composta por vinte postos de escovagem e por operários com níveis de formação e experiência muito distintos, devido à elevada rotação de funcionários e constante necessidade de expandir a equipa, esta área representa uma ótima oportunidade para a utilização de um controlo de qualidade volante.

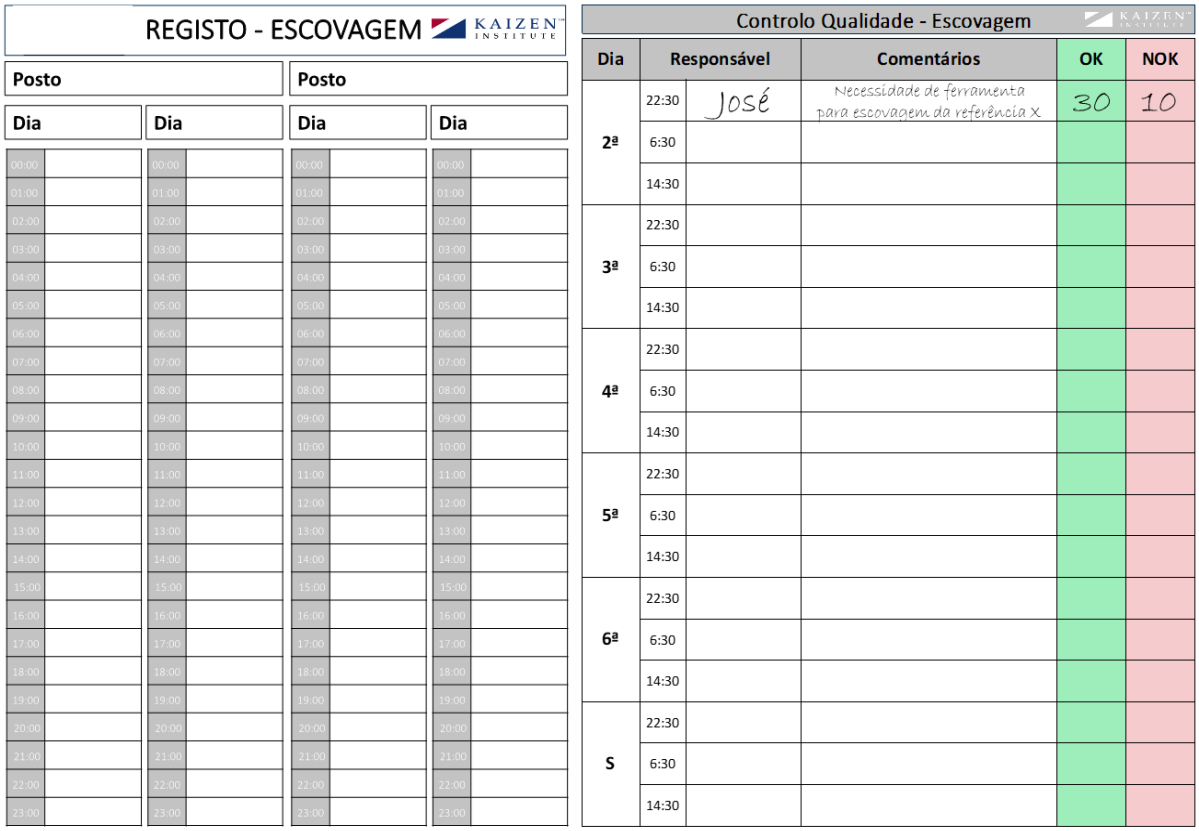
A solução implementada passou pela alocação de um membro da inspeção final e embalamento, preferencialmente dos mais experientes, à função de controlo de qualidade volante na escovagem, em cada um dos turnos. Essa escolha deve-se ao facto de estes estarem mais sensibilizados para os defeitos que ocorrem nesta fase do processo e que são rejeitados apenas na fase final.

O controlo de qualidade é volante porque percorre cada um dos postos, fazendo uma avaliação com base numa *checklist* composta pelos seguintes pontos:

- Instrução de escovagem presente no posto – O operário deve ter no seu posto de trabalho o desenho da peça que está a escovar, devidamente assinalado com as direções de escovagem. O controlo de qualidade deve garantir que todos os postos têm o desenho presente e que estes têm a informação necessária e bem explícita de forma a garantir direções de escovagem uniformes e de acordo com o pretendido;
- A primeira peça validada – Devido à grande variedade de referências escovadas diariamente e à falta de experiência existente nas equipas de escovagem, o controlo de qualidade deve garantir uma primeira peça escovada de acordo com o pretendido, alertando para zonas da peça de escovagem crítica. Dessa forma, o operário tem uma peça-padrão pela qual se deve guiar, enquanto escova as restantes peças da mesma referência, permitindo assim perceber que o grau de escovagem está de acordo com o pretendido;
- A pasta de escovagem tem o suporte colocado – Tem um suporte que não permite o contacto direto com as luvas do funcionário de modo a não contaminar as peças com gorduras;
- O acondicionamento da peça após escovagem é o adequado – O controlo deve garantir o correto acondicionamento das peças após estas serem escovadas, alertando para a necessidade de meios de transporte das peças limpos e apropriados;
- Análise de amostra de peças já escovadas – Numa fase em que o colaborador já tenha escovado diversas peças, o controlo de qualidade deverá fazer uma análise de uma amostra de peças já finalizadas tendo em consideração que:
    - Escovagem excessiva – Alertar para os casos em que a escovagem foi excessiva e rejeitar as peças não conformes, não permitindo que o defeito passe para as etapas seguintes;
    - Escovagem insuficiente – No caso escovagem ser insuficiente, as peças devem ser novamente escovadas de modo a que obtenham a aparência pretendida;
    - Escovagem não uniforme – Caso as peças apresentem direções de escovagem erradas ou uma escovagem não uniforme é possível estas serem corrigidas. Neste caso o colaborador deverá ter em atenção o facto de estas peças já terem sido escovadas e consequentemente as camadas superiores de níquel e cobre terem sido parcialmente removidas, sendo necessária uma abordagem mais cuidadosa de modo a prevenir a escovagem excessiva da peça.

Nos casos em que todos os pontos são positivamente validados é assinalado na folha de registo, Figura 30, com uma cor verde no local correspondente à hora em que é realizado o controlo do posto. Em contrapartida, se algum dos pontos não for aprovado, então deverá ser efetuado um registo a vermelho e descrita a falha encontrada. Deste modo, a gestão visual criada pelas sinalizações verdes e vermelhas permite que o *team leader* tenha uma perceção rápida da situação dos postos de escovagem, no que à qualidade diz respeito. Esta informação permite despoletar planos de formação a operários que apresentem avaliações negativas e motivar os operários que obtenham avaliações positivas.

No final do turno, o responsável pelo controlo de qualidade regista o número total de avaliações positivas e negativas realizadas conforme exemplo presente na Figura 30. Deve ainda ser registado, no espaço para comentários, oportunidades de melhoria identificadas ao longo do turno e/ou situações críticas reconhecidas que devem ser discutidas e analisadas nas reuniões semanais.



REGISTO - ESCOVAGEM

Posto		Posto	
Dia	Dia	Dia	Dia
00:00	00:00	00:00	00:00
01:00	01:00	01:00	01:00
02:00	02:00	02:00	02:00
03:00	03:00	03:00	03:00
04:00	04:00	04:00	04:00
05:00	05:00	05:00	05:00
06:00	06:00	06:00	06:00
07:00	07:00	07:00	07:00
08:00	08:00	08:00	08:00
09:00	09:00	09:00	09:00
10:00	10:00	10:00	10:00
11:00	11:00	11:00	11:00
12:00	12:00	12:00	12:00
13:00	13:00	13:00	13:00
14:00	14:00	14:00	14:00
15:00	15:00	15:00	15:00
16:00	16:00	16:00	16:00
17:00	17:00	17:00	17:00
18:00	18:00	18:00	18:00
19:00	19:00	19:00	19:00
20:00	20:00	20:00	20:00
21:00	21:00	21:00	21:00
22:00	22:00	22:00	22:00
23:00	23:00	23:00	23:00

Controlo Qualidade - Escovagem

Dia		Responsável	Comentários	OK	NOK
2ª	22:30	José	Necessidade de ferramenta para escovagem da referência X	30	10
	6:30				
	14:30				
3ª	22:30				
	6:30				
	14:30				
4ª	22:30				
	6:30				
	14:30				
5ª	22:30				
	6:30				
	14:30				
6ª	22:30				
	6:30				
	14:30				
S	22:30				
	6:30				
	14:30				

Figura 30 - Registo de avaliações de postos de escovagem e registo de ocorrências do turno.

Auditorias de qualidade

De forma a sensibilizar todos os níveis de gestão para a importância de não produzir e passar defeitos, foram criadas auditorias de qualidade, na forma de *Gemba Walk*, a realizar pelos responsáveis dos diversos departamentos.

Foi introduzida na listagem de tarefas do *team leader* uma componente referente à qualidade. A presença ativa do responsável pelo turno e a participação em ações de sensibilização e formação passaram a fazer parte do dia-a-dia dos líderes de equipa. A Rota da Qualidade a realizar pelo *team leader* incluía as diferentes fases do processo havendo especial foco nas etapas de secagem em estufa, carga e lavagem automática. É feita uma análise às peças colocadas dentro da estufa com o objetivo de confirmar que a temperatura da mesma é adequada e as peças estão colocadas em suspensões corretas e de acordo com o requerido. Na lavagem automática são confirmados os parâmetros ao nível da condutividade da água e da composição química dos tanques. Na fase de carga, o responsável deverá garantir o cumprimento dos *standards* e sensibilizar os operadores para que façam uma inspeção à peça no momento em que a colocam na suspensão. Assim é possível impedir que peças não conformes avancem para as etapas seguintes ou, em casos em que são detetadas substâncias hidrofóbicas nas peças, os colaboradores façam uma limpeza manual com álcool.

4.1.3 Criação de instruções de trabalho na carga e lavagem

Na fase do processo de carga verificou-se uma total ausência de *standards* de carga, o que se traduzia em defeitos cujo motivo se devia apenas ao incorreto posicionamento das peças nas estruturas metálicas, uso de suspensões incorretas e seleção de programas de lavagem inadequados. A criação de instruções de trabalho (IT) também representa uma vantagem na minimização dos efeitos da alta rotação de funcionários e na contratação de mais pessoas nesta fase de expansão.

Dessa forma foram selecionados os requisitos necessários para a criação das instruções de trabalho:

- Identificação da suspensão – As suspensões estão identificadas com um número, sendo que para cada referência deve ser usada apenas a suspensão cujo número será apresentado na instrução de trabalho;
- Número de peças por suspensão – O número de peças que devem ser colocadas nas suspensões é variável tendo em conta o programa a ser executado na câmara de PVD;
- Fotografia geral da colocação das peças – A disposição das peças nas suspensões deve ter em conta o programa a ser executado nas câmaras de PVD. O colaborador deve cumprir com o representado na fotografia;
- Fotografia do detalhe da peça na suspensão – A fotografia do detalhe da peça permite que o colaborador saiba exatamente a posição em que deverá colocar a peça;
- Programa de lavagem a ser utilizado – Identificação de qual o programa que deve ser selecionado na linha de lavagem automática.

A Figura 31 ilustra o *template* que é utilizado no processo de criação da instrução de trabalho.

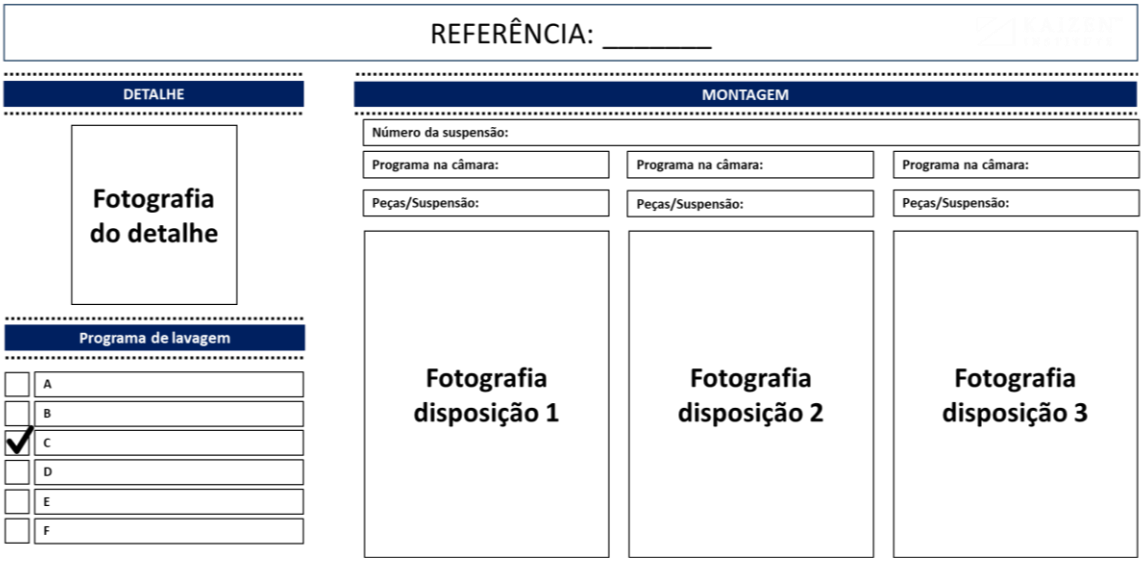


Figura 31 - *Template* de instruções de trabalho.

A Figura 32 representa o fluxo de criação de instruções de trabalho proposto. Tendo em conta o elevado número de referências processadas, e uma vez que não eram incorporadas no plano de produção todos os dias, ou todas as semanas, optou-se por um fluxo de desenvolvimento de instruções de trabalho à medida que as referências eram colocadas em produção pelo departamento de planeamento.

Em todos os turnos o líder de equipa nomeia um colaborador, preferencialmente o mais experiente, para ser responsável pela recolha de fotografias e dados necessários para a elaboração de propostas de instrução de trabalho. Sempre que uma referência é recebida na zona de carga e lavagem, e não existe uma instrução de trabalho definida, é iniciado o processo de criação de uma proposta pelo colaborador responsável, havendo sempre uma validação pelo líder de equipa. Essa proposta de instrução de trabalho é posteriormente enviada para o departamento de engenharia de processo que, após uma avaliação da mesma, aprova a instrução de trabalho ou sugere alterações.

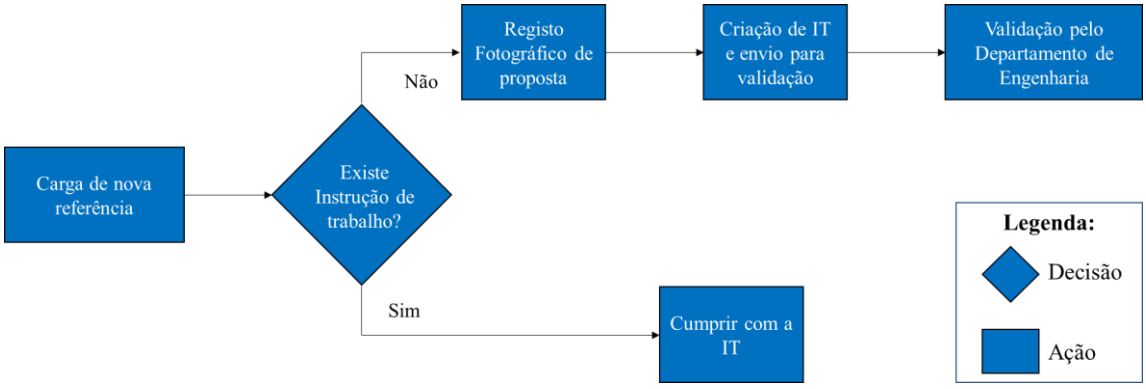


Figura 32 - Fluxo de criação de instruções de carga.

4.2 Resolução estruturada de problemas

4.2.1 Acompanhamento de peças críticas

Foi realizada uma análise para compreender como eram distribuídas as taxas de rejeição das diferentes referências processadas. A Figura 33 apresenta essa distribuição, sendo que se identificou a existência de referências com valores de rejeição elevados, nomeadamente superiores a 80%.

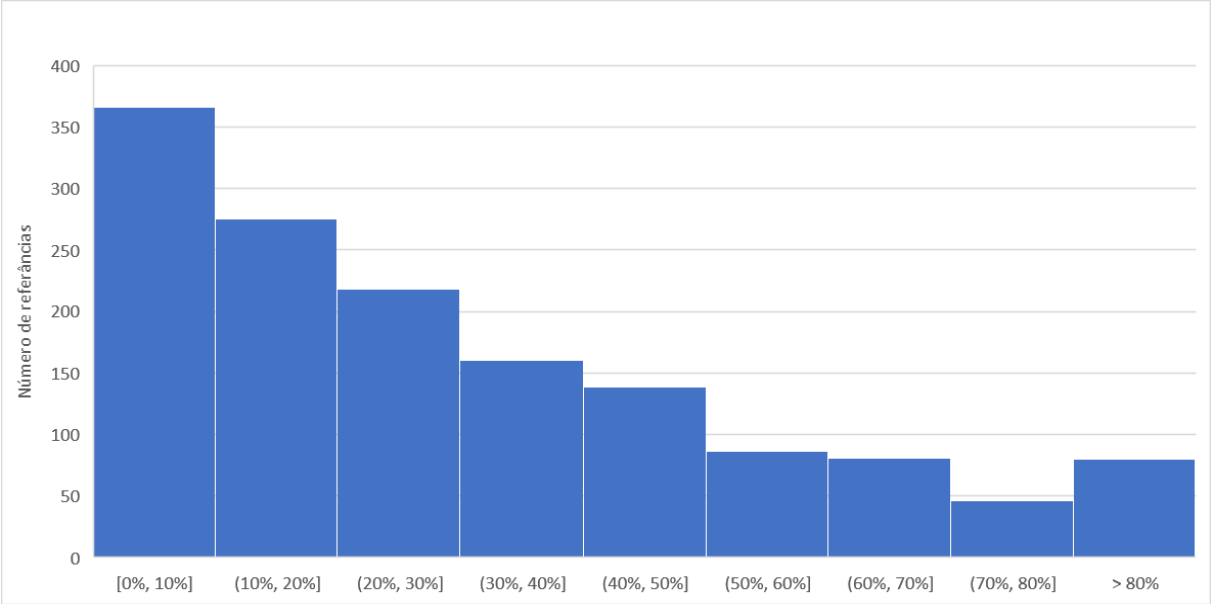


Figura 33 - Distribuição das taxas de rejeição.

O acompanhamento de referências com um histórico de rejeição elevado torna-se vantajoso pois permite identificar as possíveis causas da alta rejeição, paralelamente ao estudo do processo e ao levantamento de melhorias. O acompanhamento foi feito ao longo de todo o processo, desde a recolha das peças no armazém, terminando com a inspeção e embalamento das peças, na última etapa.

São realizados três pedidos ao armazém por dia, pelo que foi desenvolvida uma ferramenta em Excel que, tendo em conta o pedido realizado ao armazém, sinaliza as três referências com maior rejeição (tendo em conta o histórico de rejeição de 2019) presente nas bases de dados da organização, atualizado em tempo real (Anexo 1). É introduzido o pedido feito ao armazém na folha de cálculo onde de forma automática surgem os valores de rejeição de cada referência, sendo destacadas as três com valores mais elevados.

No decorrer do seguimento das referências com maior rejeição ao longo de todo o processo produtivo foram identificadas diversas oportunidades de melhoria, tendo sido implementadas as seguintes soluções:

- Novas mesas de transporte entre sala de câmaras PVD e Inspeção e Embalamento – Após o término do ciclo na câmara de PVD, o operário retira a mesa vertical da câmara e transfere as suspensões com as peças para uma mesa de transporte horizontal, com capacidade máxima de dezoito suspensões. O que se verificou foi uma distância insuficiente entre as suspensões, que originava choque entre elas, traduzindo-se em dano mecânico na fase final de todo o processo. Para evitar esta situação, todas as mesas foram substituídas por mesas com um maior distanciamento entre as posições de colocação de suspensões, Figura 34;
- Luvas na carga – Ao acompanhar peças brilhantes identificou-se que no momento da carga, as luvas brancas, de pano, que os operários utilizavam, estavam permanentemente sujas. Na fase final do processo, na etapa de inspeção e embalamento, as peças são retiradas das suspensões, sendo estas, posteriormente transportadas para a zona de carga para serem usadas novamente. Os ciclos de PVD contaminam estas estruturas, o que causa a sujidade das luvas. Foi criado um *standard* na zona de carga em que uma das mãos apenas manuseava suspensões, sendo utilizada uma luva de plástico azul, e a outra apenas manuseava peças, mantendo-se o uso de luvas brancas de pano;
- Utilização de blisters (tabuleiro de esferovite com compartimentos) com proteção na escovagem – Foi definido que as peças deveriam ser envolvidas num material protetor e depois colocadas no blister de modo a impedir a sua movimentação ao longo do trajeto entre a área de escovagem e a área de carga. Deste modo também se minimiza a deposição de poeiras e sujidades nas peças ao longo do transporte e durante o período em que não são colocadas nas suspensões.
- Suporte para a pasta abrasiva – A pasta abrasiva colocada na fase de escovagem que permite a remoção das camadas superficiais das peças é composta por componentes gordurosos, sendo dificilmente removidos na lavagem, o que origina o defeito - mancha nas peças -, anteriormente identificado. De modo a impedir o contacto da pasta com as luvas do colaborador foi criado um suporte em plástico onde é introduzida a pasta abrasiva.



Figura 34 - Mesas de transporte horizontal antigas (esquerda) e mesas de transporte horizontal novas (direita).

4.2.2 Mecanismo *poka-yoke* na carga

De modo a perceber o motivo do dano mecânico nas peças foram selecionadas três referências que apresentaram maior taxa de rejeição, devido a esse defeito, durante as semanas 9 e 10. Foram analisadas as zonas das peças de modo a perceber se existia algum padrão no local onde o defeito era detetado. A zona da peça que apresentava mais vezes dano mecânico era a zona que ficava exposta quando estas eram colocadas na suspensão.

Durante o acompanhamento presencial identificou-se a existência de peças que não apresentavam dano mecânico no momento de saída de linha de lavagem automática e eram rejeitadas posteriormente na fase de inspeção e embalamento devido a esse defeito. O manuseamento de peças era inexistente entre essas duas fases pelo que o motivo para que as peças fossem danificadas seria o embate contra as paredes da câmara de PVD durante a rotação ao longo do ciclo de deposição.

De modo a aproximar a deteção do erro do momento em que este é originado foi criado um mecanismo em cada bancada de carga (cf. Figura 35). A deteção neste momento inicial permite a sua correção sem impactar o normal fluxo de materiais. O mecanismo simula a distância entre o eixo de rotação da suspensão e as paredes interiores da câmara de PVD de forma a verificar se irá ocorrer algum choque de peças.

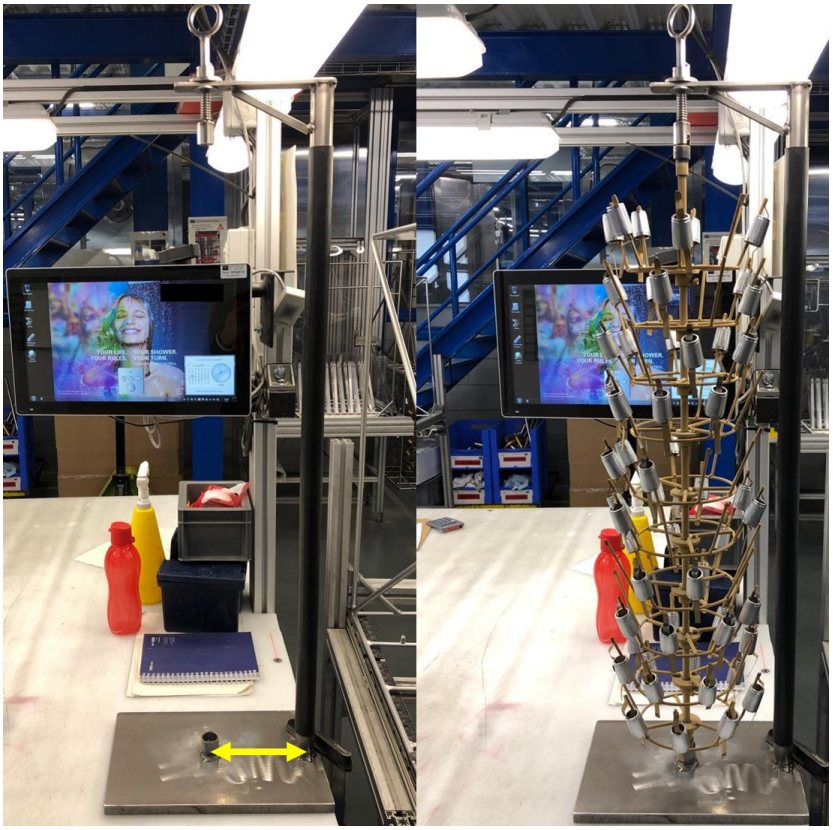


Figura 35 - Mecanismo *poka-yoke*.

O operador coloca a suspensão na posição de teste e inicia a colocação de peças. Após ter concluído o processo de carga deve ser feita a rotação da suspensão e verificar se existe algum impacto das peças contra o suporte de teste, sendo que este se encontra devidamente revestido com um material protetor que não causa dano nas peças. Caso não seja verificado qualquer tipo de impacto, a suspensão deve ser colocada num cesto de modo a prosseguir para a lavagem automática. Se, por outro lado, se verificar alguma colisão, o colaborador deverá fazer um ajuste manual à suspensão. Nos casos em que o ajuste manual não garante a rotação da suspensão sem qualquer impacto, esta deve ser enviada para manutenção de maneira a ser reparada, caso o problema tenha surgido do desgaste da mesma, ou redesenhada pela equipa de engenharia de processo, caso se trate de um problema estrutural. A Figura 36 esquematiza as ações a realizar no momento de teste da suspensão.

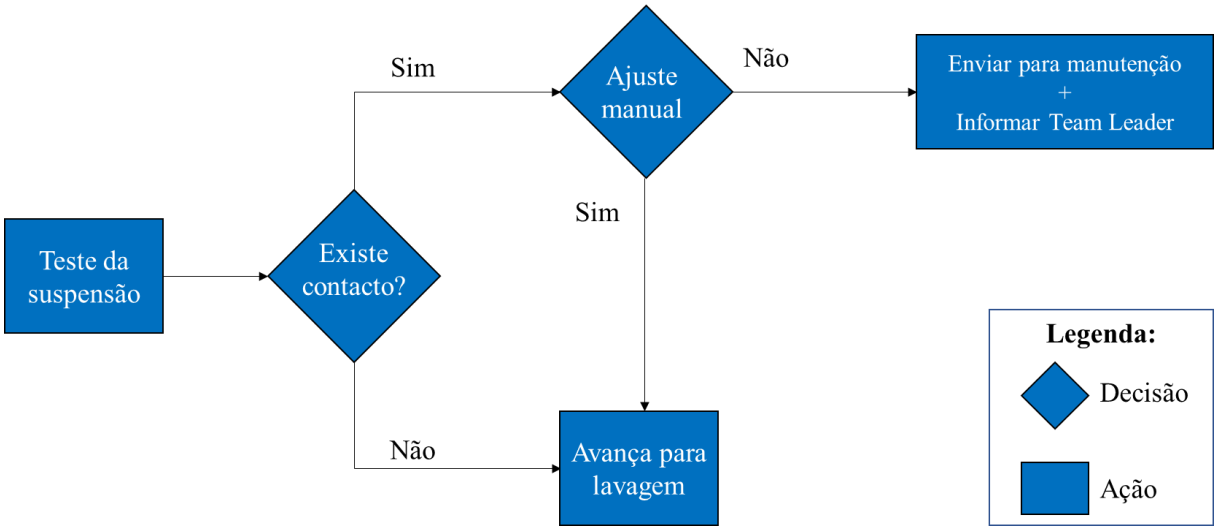


Figura 36 - Fluxo de ações para teste na carga.

4.3 Resultados

A Figura 37 contém informação relativa à evolução da taxa de rejeição semanal ao longo das 21 semanas do ano de 2019, onde estão identificados os objetivos propostos para ambos os grupos de peças, 8% para peças sem cor, e 10 % para peças com cor, sendo que a atuação do Kaizen Institute teve o seu início na semana 10.

No caso das peças sem cor, o objetivo proposto foi conseguido desde a semana 13, com o valor de 7,6%. Desde esta data a taxa de rejeição deste grupo de peças variou 7,9% e 5,6%, sempre abaixo do objetivo definido. Nas últimas quatro semanas, o valor médio da taxa de rejeição de peças com cor foi de 9,7%, tendo sido registado um valor superior ao objetivo, 10%, apenas numa semana. O Anexo 2 contém informação da evolução da taxa de rejeição devido aos diferentes defeitos.

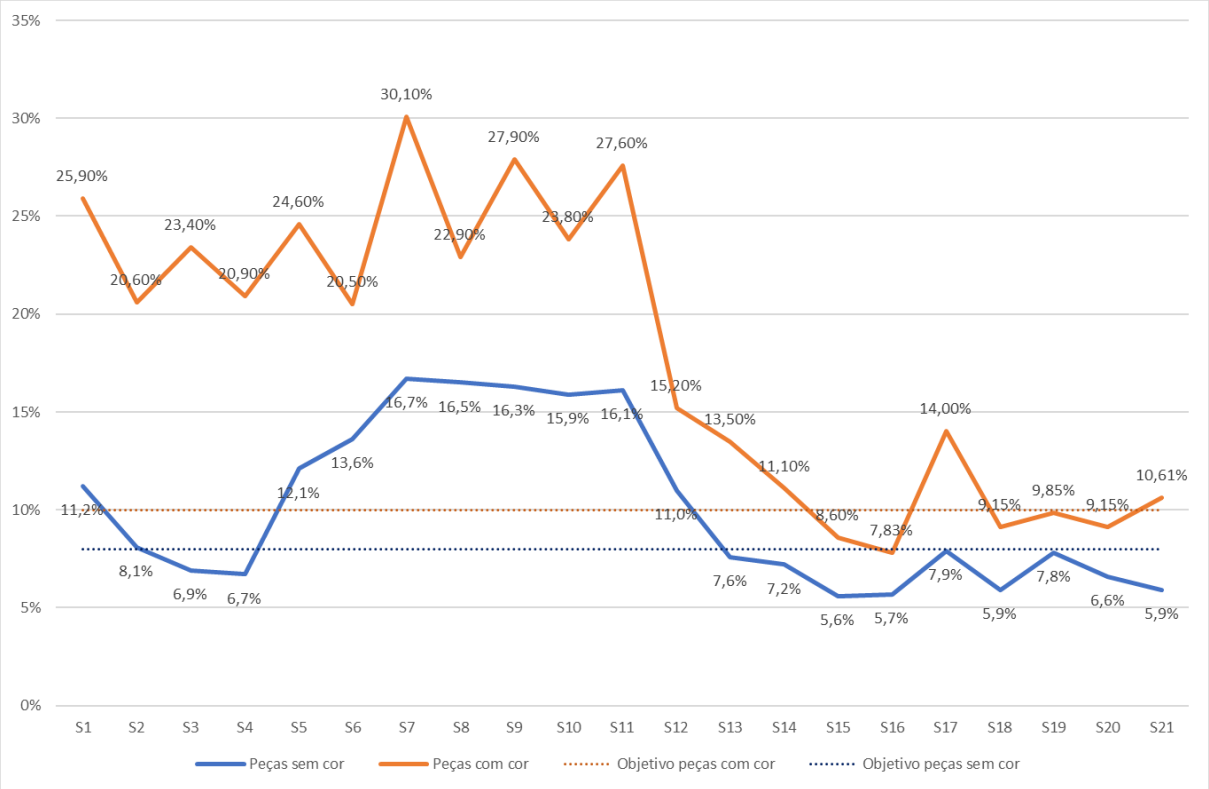


Figura 37 - Evolução da rejeição de peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21).

A Figura 38 permite identificar uma tendência crescente da taxa de rejeição devido ao erro de escovagem, para ambos os grupos de peças, entre as semanas 1 e 11 de 2019. O valor mais elevado registado no período em análise é referente à semana 11, onde 9,72% das peças sem cor, produzidas durante essa semana, foram rejeitadas devido a este defeito, no caso das peças com cor essa rejeição foi de 6,47%.

A implementação do controlo de qualidade volante na etapa de escovagem foi iniciada no decorrer da semana 12, tendo-se verificado uma redução significativa da taxa de rejeição de peças com cor e sem cor devido ao erro de escovagem, face à semana anterior. A permanência do controlo de qualidade nesta fase do processo permitiu uma redução da taxa de rejeição devido ao erro de escovagem de 2,22% para 1%, correspondente a uma variação de 54,92%, e um decréscimo de 3,14% para 1,82%, nas peças sem cor, o que equivale a uma redução de 42,07%. Os valores iniciais foram calculados com base nos dados das semanas 1 a 10 e os valores finais tendo em conta as últimas quatro semanas de projeto.

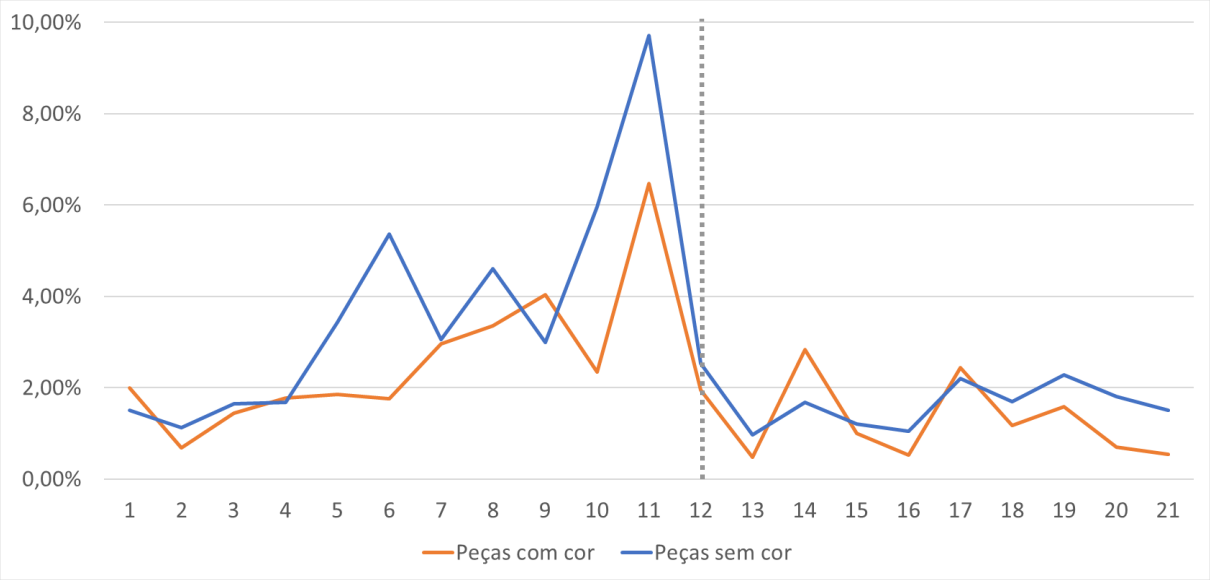


Figura 38 - Evolução da taxa de rejeição devido a erro de escovagem em peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21).

No que diz respeito ao defeito dano mecânico, as peças com cor e sem cor apresentavam taxas de rejeição distintas no período que antecede o projeto do Kaizen Institute, como pode ser observado na Figura 39. A sensibilização dos colaboradores para o tema da qualidade nas reuniões de turno permitiu uma maior responsabilização e cuidado no manuseamento das peças ao longo de todo o processo. A implementação do sistema *poka-yoke* na carga também permitiu a sinalização de suspensões não conforme, sendo estas enviadas para o departamento de manutenção para que fossem reparadas, em casos de desgaste, ou redesenhadas, em casos em que o problema era estrutural, evitando assim que peças continuassem a ser colocadas nessas suspensões. A utilização deste sistema teve início na semana 12.

A taxa de rejeição semanal devido a dano mecânico teve um decréscimo de 3,82% para 2,02% nas peças com cor e uma redução de 2,65% para 1,8% nas peças sem cor, sendo os valores finais contabilizados referentes às últimas quatro semanas de projeto.

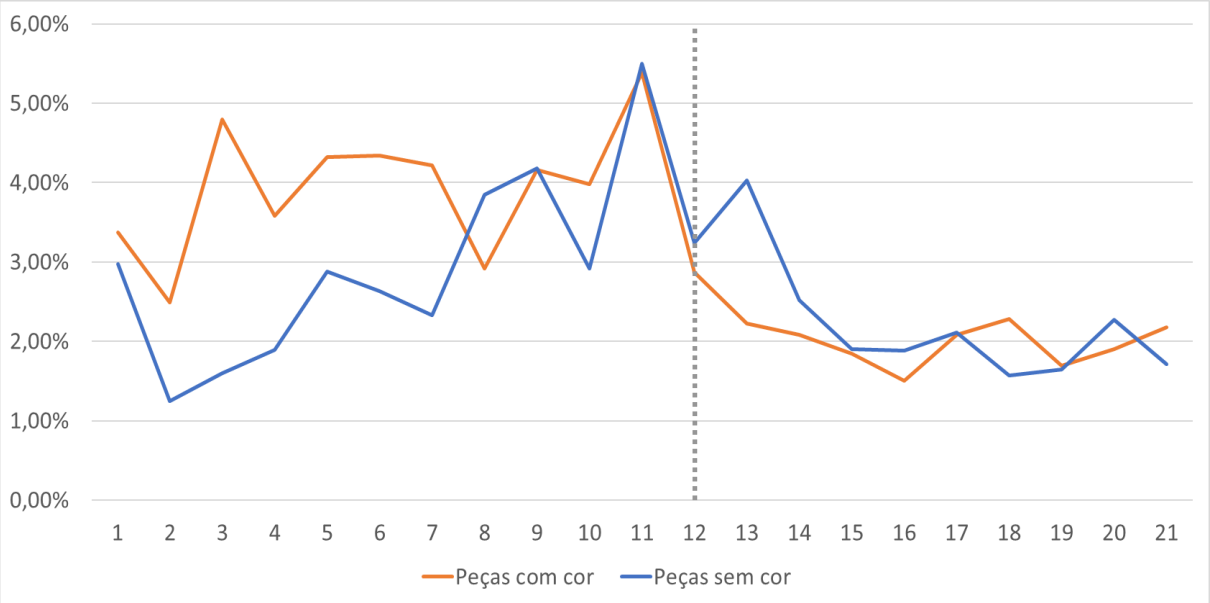


Figura 39 - Evolução da taxa de rejeição devido a dano mecânico em peças com cor e sem cor (Semana 1 - Semana 21).

A Tabela 1 resume os resultados obtidos ao nível da variação da rejeição devido a cada um dos defeitos, fazendo a diferenciação entre peças com cor e sem cor. É importante salientar que em todos os defeitos se verificou uma redução da taxa de rejeição semanal.

O valor da rejeição devido ao defeito mancha durante as quatro últimas semanas de projeto foi o que registou uma variação mais acentuada face aos valores iniciais, do período que antecede o projeto, em ambos os grupos de peças. Este decréscimo ficou a dever-se à criação de uma segunda linha de lavagem, o que permitiu que uma das linhas de lavagem automática estivesse exclusivamente destinada a peças escovadas e a outra a peças brilhantes. Esta medida, em conjunto com as instruções de trabalho criadas, permitiu que os erros de seleção de lavagem fossem menos frequentes, resultando numa diminuição da rejeição causada por este defeito de mancha.

A marca de água, que é originada pelo mau posicionamento das peças nas suspensões, registou também uma evolução significativa, uma variação de 70,53% nas peças com cor e 86,68% nas peças sem cor, sendo que as instruções de trabalho e os círculos de qualidade foram as ações implementadas que mais contribuíram para este decréscimo.

Tabela 1 - Variação das taxas de rejeição para os diversos defeitos.

	Peças com cor			Peças sem cor		
	Taxa Rejeição Média		Variação	Taxa Rejeição Média		Variação
	Período antes do projeto	4 semanas finais do projeto		Período antes do projeto	4 semanas finais do projeto	
Fornecedor	3,94%	1,54%	-60,92%	0,65%	0,64%	-2,19%
Dano mecânico	3,82%	2,02%	-47,23%	2,65%	1,80%	-31,97%
Falta de PVD	4,08%	1,45%	-64,46%	0,85%	0,38%	-54,96%
Erro de escovagem	2,22%	1,00%	-54,92%	3,14%	1,82%	-42,07%
Desvio de cor	2,70%	0,79%	-70,74%	0,89%	0,54%	-40,02%
Marca de contacto	0,43%	0,19%	-56,20%	0,09%	0,05%	-38,67%
Mancha	1,71%	0,20%	-88,28%	1,99%	0,28%	-85,93%
Marca de água	1,26%	0,37%	-70,53%	0,49%	0,07%	-86,68%
Deformado	1,26%	0,63%	-50,16%	0,20%	0,19%	-3,19%
Erro de revestimento	2,07%	1,48%	-28,63%	1,00%	0,77%	-22,56%

5 Conclusões e Perspetivas Futuras

5.1 Conclusões

O projeto desenvolvido pelo Kaizen Institute, na Empresa Cliente, cumpriu com os objetivos propostos, quer ao nível da redução da taxa de rejeição, quer ao nível da sustentabilidade dos resultados obtidos.

As soluções implementadas contribuíram para uma redução da taxa de rejeição semanal das peças sem cor, de 12,4% para 6,6%, valor médio das últimas quatro semanas de projeto (semana 18 – semana 21), o que corresponde a um decréscimo de 47% face ao valor inicial.

A rejeição semanal das peças com cor ao longo das últimas quatro semanas de projeto foi de 9,7%, o que representa um decréscimo de 60% face ao valor inicial, 24,1%.

As reuniões de turno e as reuniões semanais contribuíram para a formação e sensibilização dos colaboradores, promovendo o envolvimento de todos na prática da melhoria contínua, salientando-se a importância de não passar defeitos para a etapa seguinte do processo e a necessidade de serem autónomos na deteção de não conformidades.

O papel do controlo de qualidade volante numa fase do processo que apresentava níveis de rejeição crescentes, a escovagem, foi determinante para que a taxa de rejeição semanal devido ao erro de escovagem tivesse uma diminuição de 2,21% para 1,00%, valor médio das últimas quatro semanas de projeto, no caso das peças com cor, e uma diminuição de 2,83% para 1,82% no caso das peças sem cor.

Numa organização com elevada rotação de funcionários a necessidade de *standards* é crucial, para que todos os colaboradores estejam aptos a desenvolver tarefas da forma adequada e normalizada. O desenvolvimento de um processo de criação de instruções de trabalho na fase de carga e lavagem permitiu a normalização dos processos, representando a melhor forma de colocar as peças nas suspensões e contendo informações dos programas de lavagem a utilizar, garantindo que todos os colaboradores tinham acesso à informação necessária para cumprir as suas tarefas.

Por fim, a criação de um mecanismo que previne a ocorrência de erros numa fase futura do processo e que permite a sinalização de necessidade de manutenção de suspensões contribuiu para a diminuição da rejeição devido a dano mecânico em ambos os grupos de peças. No caso das peças com cor, partindo de um valor médio de 3,82%, correspondente ao período que antecede o início do projeto, obteve-se um valor médio de 2,02% durante as quatro semanas finais de projeto. No caso das peças sem cor, a taxa de rejeição média causada pelo defeito dano mecânico foi de 2,02%, em contraste com o valor de 3,82% correspondente às primeiras semanas do ano.

A abordagem utilizada no projeto foi de encontro às necessidades da Empresa Cliente, que se encontra num momento de expansão, confrontada com uma elevada rotação de colaboradores e com altos níveis de rejeição, implicando custos acrescidos e dificuldades em cumprir com o plano de produção.

Com um processo produtivo caracterizado pela sua forte componente manual, as soluções implementadas no decorrer do projeto podem ser replicadas noutras organizações cujas características se assemelhem às da Empresa Cliente. Numa perspetiva de sensibilização e formação de colaboradores, os círculos de qualidade permitem momentos propícios para atingir esses objetivos. A normalização das tarefas, através de instruções de trabalho, e o controlo de qualidade implementado representam iniciativas que permitem a estabilização do processo. Por fim, é fundamental a criação de mecanismos que possibilitem uma fácil inspeção das peças, sem investimento significativo para a empresa e sem impacto na produtividade dos colaboradores, de modo a detetar erros e consequentemente impedir a ocorrência de defeitos.

5.2 Perspetivas futuras

Os resultados obtidos foram promissores, tendo sido possível obter uma redução significativa da taxa de rejeição. No entanto, os níveis de rejeição ainda são elevados, existindo ainda oportunidades de melhoria que certamente proporcionarão um decréscimo adicional da taxa de rejeição para ambos os grupos de peças. Desse modo são apresentadas propostas para ações futuras a colocar em prática.

Colocação direta nas suspensões após escovagem

Após a análise de todo o processo identificou-se que o manuseamento das peças por parte dos colaboradores correspondia a um aumento do risco de rejeição das peças devido ao dano mecânico causado nas peças. Desse modo, a redução de vezes em que é necessário que a peça seja manuseada representa uma melhoria no processo. A colocação direta da peça na suspensão após ser escovada permite a eliminação da etapa de novo embalamento, transporte em caixas e colocação na suspensão por parte de um colaborador na etapa da carga. Os desafios criados por este novo modo de trabalho surgem devido à ausência de espaço junto dos postos de escovagem e à necessidade de formação dos colaboradores presentes na escovagem de modo a realizar uma nova tarefa que exige um nível elevado de cuidado.

Comunicação com os fornecedores

Ao longo do projeto, e após a análise dos dados de rejeição, definiu-se como prioridade a negociação com os fornecedores de modo a que sejam recebidas apenas peças com as características necessárias para poderem ser incluídas no processo produtivo.

Criação de registo de peças com zonas identificadas

Após acompanhamento do processo de inspeção final identificou-se a dificuldade em determinar quais as zonas A, B e C das peças (conforme nomenclatura acima referida no capítulo 3). A incorreta identificação leva, na maioria dos casos, à rejeição de peças com defeitos em zonas C, pelo que será vantajosa a criação de instruções para serem consultadas nos postos de inspeção e embalamento.

Pedidos ao armazém em múltiplos de caixas

Após o acompanhamento do processo de recolha de peças no armazém e posterior entrega na zona de escovagem, identificou-se que o manuseamento de peças seria, idealmente, nulo. Dessa forma, o planeamento de produção deverá ter em conta a quantidade de peças presentes em cada caixa de fornecedor, para que o pedido ao armazém não implique a abertura de caixas e o transporte de peças a granel.

***Six Sigma* e Desenho de experiências**

Numa fase em que a taxa de rejeição já se encontre estabilizada em níveis mais baixos será benéfica a utilização da metodologia *Six Sigma* e desenho de experiências ao nível dos parâmetros das câmaras de PVD e das linhas de lavagem automática.

Referências

Baptista, A., Silva, F., Porteiro, J., Míguez, J., and Pinto, G. (2018) Sputtering Physical Vapour Deposition (PVD) Coatings: A Critical Review On Process Improvement And Market Trend Demands. *Coatings* **8**: 402.

Fisher, M. (1999) Process Improvement By Poka-Yoke. *Work Study* **48**: 264-266.

Gomes, P.L.P. (2004) A Evolução Do Conceito De Qualidade: Dos Bens Manufacturados Aos Serviços De Informação. In: Cardernos BAD Lisboa, Portugal: Associação Portuguesa de Bibliotecários Arquivistas e Documentalistas, pp. 6-18.

Imai, M. (1997) *Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-Cost Approach to Management,* Mcgraw-Hill, EUA, Nova Iorque.

Imai, M. (2012) *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach To A Continuous Improvement Strategy,* McGraw-Hill Nova Iorque, EUA.

Kaizen Institute, (2018a) *KAIZEN™ Business System (KBS): Manual*.

Kaizen Institute, (2018b) *Total Quality Management (TQM): Manual*.

Juran, J.M. (1951) *Quality-Control Handbook,* McGraw-Hill Nova Iorque, EUA.

Kumar, D., and Kaushish, D. (2015) Scrap Reduction In A Piston Manufacturing Industry: An Analysis Using Six Sigma And DMAIC Methodology. *IUP Journal of Operations Management* **XIV**: 7-24.

Kwak, Y.H., and Anbari, F.T. (2006) Benefits, Obstacles, And Future Of Six Sigma Approach. *Technovation* **26**: 708-715.

Lawlor, K.B., and Jornyak, M.J. (2012) Smart Goals: How The Application Of Smart Goals Can Contribute To Achievement Of Student Learding Outcomes. *Developments In Business Simulation And Experimental Learning: Proceedings Of The Annual Absel Conference* **39**: 259-267.

Linderman, K., Schroeder, R.G., Zaheer, S., and Choo, A.S. (2003) Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective. *Journal of Operations Management* **21**: 193-203.

Mattox, D.M. (2002) Physical Vapor Deposition (PVD) Processes. *Metal Finishing* **100**: 394-408.

Mattox, D.M. (2010) *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*, p. 792. William Andrew Boston, EUA.

McClusky, R. (2000) The Rise, Fall And Revival Of Six Sigma. *Measuring Business Excellence* **4**: 6-17.

Ohno, T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Oregon, EUA.

Raisinghani, M.S., Ette, H., Pierce, R., Cannon, G., and Daripaly, P. (2005) Six Sigma: Concepts, Tools, And Applications. *Industrial Management and Data Systems* **105**: 491-505.

Robinson, H. (1997) Using Poka-Yoke Techniques For Early Defect Detection. In: Sixth International Conference Software Testing, Analysis & Review. San Jose, Califórnia, EUA, pp. 1-12.

Rother, M., and Shook, J.Y. (2003) *Learning To See: Value Stream Mapping To Add Value And Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, Massachusetts, EUA.

Shahidi, S., Moazzenchi, B., and Ghoranneviss, M. (2015) A Review - Application Of Physical Vapor Deposition (PVD) And Related Methods In Textile Industry. *The European Physical Journal Applied Physics* **71**: 31302 (p1-p13)

Smadi, A.S. (2009) Kaizen Strategy And The Drive For Competitiveness: Challenges And Opportunities. *Competitiveness Review: An International Business Journal incorporating Journal of Global Competitiveness* **19**: 203-211.

Stamatis, D.H. (2004) *Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide To The System Methods And Tools*, p. 345. Productivity Press, Nova Iorque, EUA.

Tague, R.N. (2005) *Quality Toolbox*. ASQ Quality Press, Wisconsin, EUA.

Vergason, G., Fitch, M., Smith, R., Brazil, M., and Jochum, T. (2015) PVD Chromium Coatings Replacing Decorative Chromium Electroplated Coatings On Plastics. In: Society of Vacuum Coaters Fifty-Eighth Annual Technical Conference Proceedings. Santa Clara, Califórnia, EUA, pp. 403-410.

Wilkinson, L. (2006) Revising The Pareto Chart. *The American Statistician* **60**: 332-334.

ANEXO 1: Ferramenta de sinalização de peças críticas - Excel

Pedido ao armazém		
Rejeição	Referência	Quantidade
24%	1	24
13%	2	32
13%	3	32
64%	4	2
16%	5	156
42%	6	96
1%	7	144
43%	8	35
61%	9	15
5%	10	10
5%	11	12
5%	12	12
5%	13	12
3%	14	12
3%	15	12
16%	16	20
16%	17	20
21%	18	5
21%	19	20
76%	20	15
25%	21	140
23%	22	9
23%	23	9
9%	24	192
9%	25	192

REF	Rejeição	Qtd
20	76%	15
4	64%	2
9	61%	15

Figura 40 - Exemplo de identificação de referências com taxa de rejeição elevada.

ANEXO 2: Evolução da taxa de rejeição

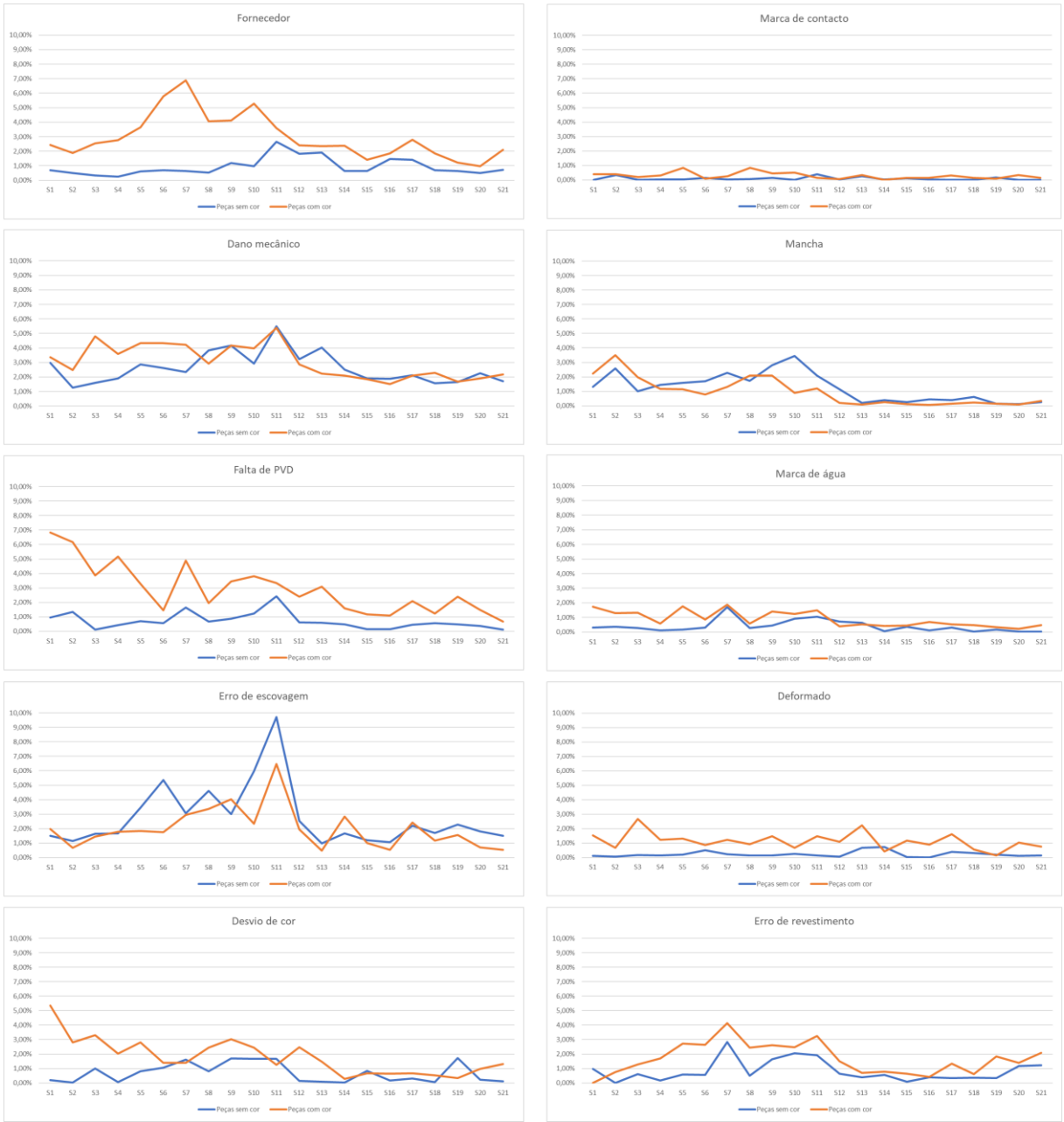


Figura 41 - Evolução da taxa de rejeição (Semana 1 - Semana 21).