



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Filipe da Silva Matos

**Estudo e otimização de sistemas de apoio à
qualidade no forjamento a frio**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Rui Filipe da Silva Matos

**Estudo e Otimização de Sistemas de Apoio à
Qualidade no Forjamento a Frio**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do:

**Professor Doutor João Pedro Mendonça Assunção
Silva**

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial

CC BY-NC

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

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor João Pedro Mendonça Assunção Silva pela orientação deste trabalho e por todo o tempo disponibilizado.

À ETMA Metal Parts pela oportunidade de realizar o estágio curricular nas suas instalações e pelo apoio e investimento no desenvolvimento do projeto.

Ao Engenheiro Ricardo Pereira pela proposta do tema e pela orientação dentro da empresa.

Ao Hélder Ferreira e ao Calisto Sá por toda a disponibilidade, contributo e conhecimento partilhado.

A todos os colaboradores do setor do forjamento a frio por estarem sempre disponíveis para ajudar.

À minha família por toda a ajuda, por se mostrarem sempre orgulhosos e por tornarem possível este percurso.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 27 de outubro de 2022

RESUMO

Consequência da crescente exigência dos consumidores para que os produtos comprados estejam conforme os parâmetros previstos, a qualidade tem cada vez mais um papel determinante nas empresas para atingirem a satisfação dos clientes.

Neste sentido, a ETMA Metal parts, empresa do ramo da metalomecânica sentiu a necessidade de aumentar a qualidade dos produtos manufaturados no setor do forjamento a frio, maioritariamente parafusos especiais ou peças semelhantes que se produzem a frio, em grandes quantidades e com elevada cadência e cujos processos de fabrico são baseados numa grande dose de empirismo e de experiência dos operadores.

Inicialmente, de forma a que se percebesse de forma rápida e eficaz que melhorias poderiam ser projetadas, foi feita uma análise dos problemas e das reclamações dos clientes que o setor do forjamento enfrentava.

Com o objetivo de solucionar alguns dos problemas identificados, foram desenvolvidos dois projetos de melhoria para os equipamentos de forjamento a frio. O primeiro consistiu na implementação de um sensor no batente que surge com a finalidade de suprir os defeitos relacionados com a má alimentação de arame nas máquinas. A segunda melhoria idealizada foi a implementação de uma calha com a função de impedir que as peças que caem durante o transporte de posto para posto ao longo da produção se juntem com as peças conformes.

Para além destes projetos de melhoria, foi também levada a cabo a aplicação da metodologia SMED a um dos equipamentos do setor com vista a diminuir o seu tempo de *setup*, alcançando-se uma redução de 48,3%.

Para concluir, com este trabalho, foram alcançados alguns ganhos ao nível da qualidade que resultam tanto resolução direta de problemas que estavam a causar defeitos, através das melhorias aplicadas aos equipamentos, como de uma inspeção mais metódica e rigorosa das produções e da existência de procedimentos de *setup* mais organizados e normalizados resultantes da aplicação da metodologia SMED a um dos equipamentos.

Palavras-Chave

Forjamento a Frio; Qualidade; Melhorias; SMED;

ABSTRACT

As a result of the growing demand of consumers for the products purchased to be in accordance with the expected parameters, quality has an increasingly important role in companies to achieve customer satisfaction.

In this sense, ETMA Metal parts, a metalworking company, felt the need to increase the quality of products manufactured in the cold forging sector, mostly special screws or similar parts that are produced in large quantities and at high cadence, and whose manufacturing processes are based on a large dose of empiricism and experience of operators.

Initially, to quickly and effectively understand what improvements could be designed, an analysis was made of the problems and customer complaints that the cold forging sector was facing.

To solve some of the problems identified, two improvement projects were developed for the cold forging equipment. The first one consisted in the implementation of a sensor with the purpose of solving the defects related to the misfeeding of the machines. The second improvement was the implementation of a rail with the function of preventing the parts that fall during the transport from station to station along the production from getting together with the compliant parts.

Besides these improvement projects, the SMED methodology was also applied to one of the sector's equipment to reduce its setup time, achieving a 48.3% reduction.

To conclude, with this work, some gains in quality were achieved. These gains resulted from direct resolution of problems that were causing defects, through improvements applied to equipment, and from a more methodical and rigorous inspection of production and the existence of more organized and standardized setup procedures resulting from the application of the SMED methodology to one of the machines.

Keywords

COLD FORGING; QUALITY; IMPROVEMENTS; SMED;

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iv
Abstract	v
Índice	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Símbolos.....	1
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.1.1. Apresentação da Empresa.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Motivação do Trabalho.....	4
1.4. Guia de Leitura	5
2. Revisão Bibliográfica	7
2.1. Forjamento	7
2.2. Forjamento a Frio	8
2.2.1. Vantagens e Desvantagens do forjamento a frio.....	9
2.2.2. Projeto no Forjamento a Frio	10
2.2.3. Atrito e Lubrificação	16
2.2.4. Máquinas de Forjamento a frio.....	18
2.3. Automação no Forjamento.....	23
2.3.1. Aplicações da automação no forjamento	24
2.4. Mudança Rápida de ferramenta.....	27
2.4.1. Modelo de aplicação da metodologia SMED	29

2.4.2.	Benefícios da implementação da metodologia <i>SMED</i>	30
2.4.3.	Influência da sequência de produção no tempos de setup	31
2.5.	Comentários e Síntese do Capítulo	32
3.	Melhorias Idealizadas para os equipamentos	33
3.1.	Implementação de sensor no batente	33
3.1.1.	Enquadramento.....	33
3.1.2.	Tipo de Sensor para o batente	36
3.1.3.	Isolamento do batente	36
3.1.4.	Montagem do Sensor	38
3.1.5.	Necessidade de um sensor auxiliar	39
3.1.6.	Instalação do Sensor Auxiliar	40
3.1.7.	Escolha do Sensor Auxiliar	43
3.1.8.	Escolha do PLC.....	43
3.1.9.	Grafcet.....	44
3.1.10.	Programação do PLC.....	46
3.1.11.	Entradas e Saídas do PLC.....	49
3.1.12.	Esquema Elétrico	49
3.2.	Implementação de calha para separar peças inacabadas.....	50
3.2.1.	Enquadramento.....	50
3.2.2.	Conceção do Separador e da Calha.....	51
3.3.	Comentários e Síntese do capítulo.....	55
4.	Redução do tempo de <i>setup</i>	56
4.1.	Estágio Preliminar.....	56
4.2.	Estágio 1 – Separação das Atividades Internas e Externas	59
4.3.	Estágio 2 – Conversão das atividades Internas em Externas	60

4.4.	Estágio 3 – Otimização sistemática de todos os aspetos das operações de setup (externas e internas).....	61
4.4.1.	Atividades paralelas	61
4.4.2.	Redução e simplificação das atividades internas.....	63
4.4.3.	Redução e simplificação das atividades externas	70
4.4.4.	Redução do tempo de <i>setup</i> resultante da aplicação do estágio 3	70
4.5.	Análise dos resultados obtidos na redução do tempo de <i>setup</i>	70
4.6.	Importância de uma sequência inteligente de produção	74
4.7.	Comentários e Síntese do capítulo.....	75
5.	Melhoria contínua da qualidade	76
5.1.	Registos de qualidade.....	76
5.2.	Sensores das máquinas	78
5.3.	Cadastros das ferramentas.....	79
5.4.	Comentários e Síntese do capítulo.....	80
6.	Considerações finais.....	81
6.1.	Conclusões.....	81
6.2.	Perspetivas e Trabalhos Futuros	83
	Bibliografia	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figure 1: Exemplos de produtos produzidos pela ETMA Metal Parts	2
Figura 2: Gráfico com causas das reclamações dos clientes (2021).....	4
Figura 3: Exemplo de peças produzidos por forjamento a frio	8
Figura 4: Etapas do processo de fabrico de uma peça por forjamento a frio (Jo et al, 2021).....	11
Figura 5: Matriz com dois anéis de tensão (Altan, Ngaile & Shen, 2004)	12
Figura 6: Etapas do processo de extrusão direta.....	14
Figura 7: Etapas do processo de extrusão inversa	14
Figura 8: Etapas do processo de <i>Upset</i>	14
Figura 9: Procedimento de fabrico de parafusos	15
Figura 10: Bobina de arame para alimentar máquina de parafusos	16
Figura 11: Upsetting de um bilet cilíndrico. (a) Sem atrito. (b) Com atrito.....	17
Figura 12: Equipamento <i>Carlo Salvi RF-550-SV</i>	19
Figure 13: Sequência de produção na <i>Carlo Salvi RF-550-SV</i> de dois tipos de parafusos	20
Figura 14: Equipamento <i>Multipress MP 510</i>	21
Figura 15: Etapas de fabrico de duas peças produzidas na <i>Multipress MP 510</i>	22
Figura 16: Braço robótico a alimentar prensa vertical	25
Figure 17: Aplicação de lubrificação automático	26
Figura 18: Modelo CAD ilustrativo da função do batente	34
Figura 19: Exemplo de defeitos causados pela falta de material.....	35
Figura 20: Exemplo de eixos curtos causados pela falta de material.....	36
Figura 21: Modelo CAD e peça maquinada do casulo isolante do batente	37
Figura 22: Casquilhos em nylon maquinados e respetivo modelo CAD.....	37
Figura 23: Modelo CAD da montagem dos componentes no batente.....	38
Figura 24: Fotografias da montagem dos componentes no batente.....	39
Figura 25: Obstáculo que ativa o sensor modelado e fabricado	40
Figura 26: Suporte do sensor fabricado e modelado	41
Figura 27: Representação da instalação do sensor de auxílio.....	42

Figura 28: Montagem do sensor de auxílio	42
Figura 29: Sensor indutivo M5 IY5034.....	43
Figura 30: PLC AS228P-A da Delta Electronics.....	44
Figura 31: Grafcet do comportamento idealizado para os sensores	46
Figura 32: Primeira linha do programa.....	47
Figura 33: Segunda linha do programa.....	47
Figura 34: Terceira linha do programa	48
Figura 35: Quarta linha do PLC	48
Figura 36: Quinta linha do programa.....	48
Figura 37: Sexta linha do programa	48
Figura 38: Sétima linha do programa	49
Figura 39: Esquema das ligações elétricas dos componentes do projeto do sensor ao PLC.....	50
Figura 40: Exemplos de peças que caíram durante o transporte.....	51
Figura 41: Separador e calha modelados	52
Figura 42: Ilustração da montagem da calha no separador	53
Figura 43: Ilustração explicativa do modo de funcionamento do separador e da calha	54
Figura 44: Fotografia com a sinalização a vermelho do local onde as peças (NOK) caem e a verde o local onde as peças OK caem.	54
Figura 45: Esquema representativo da reorganização das atividades externas	60
Figura 46: Esquema representativo da organização das atividades paralelas.....	62
Figura 47: a) Medidas das afinações dos extratores; b) Medidas dos parafusos que ajustam o comprimento dos punções; c) Medida dos calços.....	65
Figure 48: Exemplo de plano de montagem.....	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Especificações técnicas da máquina <i>Carlo Salvi RF-500- SV</i>	20
Tabela 2: Especificações técnicas da máquina <i>Multipress MP 510</i>	22
Tabela 3: Especificações técnicas do sensor indutivo escolhido.....	43
Tabela 4: Especificações técnicas do PLC escolhido.....	44
Tabela 5: Entradas e Saídas do PLC.....	49
Tabela 6: Operações de <i>setup</i> realizadas e os seus respetivos tempos de execução antes da aplicação da metodologia <i>SMED</i>	57
Tabela 7: Tempo poupado na atividade 2.14 (ajustar o comprimento do arame).....	67
Tabela 8: Tempo poupado nas atividades 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 (montagem dos punções).....	68
Tabela 9: Tempo poupado na atividade 2.19 (afinação geral da peça).....	69
Tabela 10: Tempo poupado na atividade 2.20 (colocação e afinação das pinças).....	69
Tabela 11: Tempo poupado na atividade 2.5 (procurar amostras das etapas das produções anteriores na caixa de ferramentas) e 2.7 (recolher caderno com as medidas dos extratores das matrizes).....	70
Tabela 12: Resumo da redução do tempo de <i>setup</i> resultante da aplicação do estágio 3.....	70
Tabela 13: Resultados obtidos na redução do tempo de <i>setup</i>	71
Tabela 14: Ganhos mensais da redução do tempo de <i>setup</i>	72
Tabela 15: Atividades de <i>setup</i> após a aplicação da metodologia <i>SMED</i>	72
Tabela 16: Atividades que não precisam de ser realizadas caso o diâmetro do arame da referencia de saída seja igual ao diâmetro de arame da referência de entrada.....	74
Tabela 17: Número de registos de março 2022 a junho 2022.....	77
Tabela 18: Número de registos de novembro 2021 a fevereiro 2022.....	78
Tabela 19: Número de registos de março 2021 a junho 2021.....	78

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas, abreviaturas e acrónimos

CAD	Conceção assistida por computador;
SMED	“Single Minute Exchange Die”;

1. INTRODUÇÃO

A dissertação que será desenvolvida neste documento tem como tema “Estudo e Otimização de Sistemas de Apoio à Qualidade no Forjamento a Frio”. Este projeto insere-se no âmbito da dissertação de mestrado do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, cujo trabalho foi realizado em parceria com a empresa de metalomecânica ETMA Metal Parts.

Neste capítulo introdutório será feito, inicialmente, o enquadramento do tema. Para além disso será feita uma apresentação da empresa parceira e das áreas de negócio na qual se enquadra. Serão identificados os objetivos deste trabalho e, para finalizar, será apresentado um guia de leitura com a estrutura seguida na redação deste documento.

1.1. ENQUADRAMENTO

Fruto da crescente exigência dos clientes para que os produtos adquiridos estejam de acordo com as especificações técnicas esperadas, a qualidade assume cada vez mais um papel preponderante nas empresas para alcançarem a satisfação dos clientes (Pires, 2007).

Ao longo dos últimos anos, as indústrias asiáticas têm conquistado grande preponderância no mercado dos componentes forjados normalizados, e, portanto, para empresas como a ETMA Metal Parts torna-se fundamental aumentar a competitividade, apostar na qualidade e em mercados mais especializados. Este tipo de mercado tem a sua própria dualidade entre o valor acrescentado dos componentes e os desafios de projeto e implementação.

Neste sentido a ETMA Metal parts, empresa do ramo da metalomecânica sentiu a necessidade de aumentar a qualidade nos produtos manufacturados no setor do forjamento, maioritariamente parafusos especiais ou peças semelhantes que se produzem a frio, em grandes quantidades e com elevada cadência e cujos processos de fabrico são baseados numa grande dose de empirismo e de experiência dos operadores (Rodrigues & Martins, 2005). Muitos destes parafusos são destinados a setores como o automóvel ou a produtos

como esquentadores onde a exigência é máxima e onde parafusos não conformes podem causar danos graves.

1.1.1. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A ETMA Metal Parts (ETMA Metal Parts – Emp. Técnica de Metalurgia, S.A.) é uma empresa da área da metalomecânica fundada pelo Sr. Mário Rodrigues da Costa em 1940. A fábrica situa-se em Braga e conta com um centro logístico na República Checa.

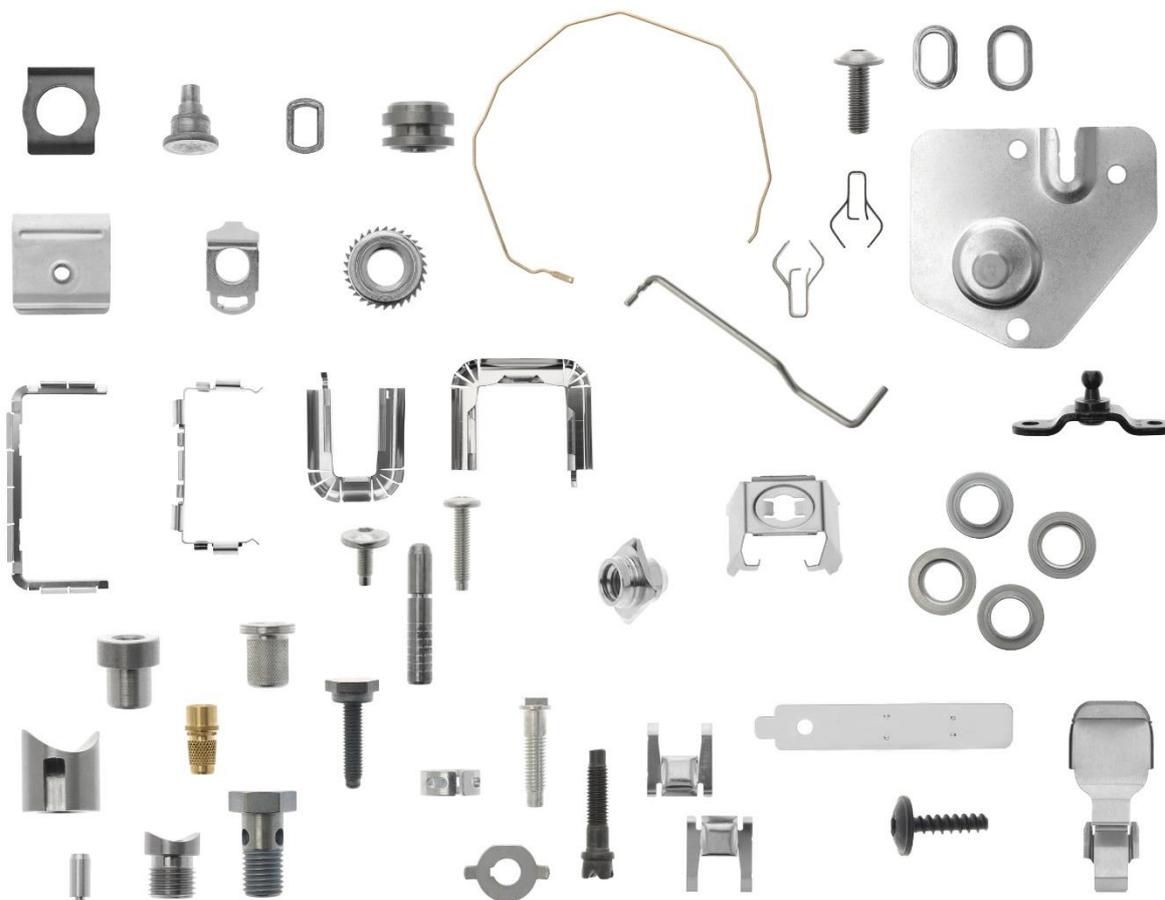


Figure 1: Exemplos de produtos produzidos pela ETMA Metal Parts

A empresa dedica-se à produção de peças metálicas customizadas para os seus clientes, sendo as suas principais áreas de negócio a indústria dos componentes automóveis, a indústria elétrica e dos eletrodomésticos, sistemas de fixação e injeção de plástico.

Entre os 10 processos produtivos que se desenvolvem na empresa encontram-se processos de fabrico por torneamento, estampagem, forjamento a frio e conformação de

arame; a realização de tratamentos térmicos e de superfície; e outros processos de apoio à produção como a prototipagem, o desenvolvimento de ferramentas e equipamentos, a montagem e soldadura e o desenvolvimento de sistemas de inspeção e de escolha. Na figura 1 encontram-se alguns de exemplos de componentes fabricadas na empresa.

Toda a organização encontra-se certificada pelas normas de gestão de qualidade ISO 9001:2015 (desde 1993) e IATF 16949:2016 (desde 2010) e pela certificação ambiental NP ISSO 14001:2015 (desde 2009).

Ciente da exigência do setor da metalurgia e da metalomecânica, a ETMA Metal Parts trabalha exaustivamente para melhorar os seus padrões de eficiência e qualidade.

1.2. OBJETIVOS

O grande objetivo do trabalho, tal como o título evidencia, será o estudo e implementação de soluções que permitam a melhoria da qualidade no setor de forjamento a frio da empresa parceira. Contudo, para que se atinga este objetivo será necessário que primeiro se atinjam outros considerados menores, mas indispensáveis, e que se adquiram conhecimentos com vista a atingir o objetivo principal.

De seguida serão apresentados os objetivos que se esperam alcançar e conhecimentos que se predem adquirir neste projeto:

- Análise dos processos e variáveis envolvidos no fabrico de componentes por forjamento a frio;
- Identificação dos equipamentos e do seu modo geral de funcionamento;
- Obtenção de conhecimentos relacionados com o projeto de ferramentas para forjamento a frio;
- Identificação e análise das reclamações dos clientes e dos defeitos habituais do forjamento a frio;
- Estudo dos métodos de qualidade e de inspeção utilizados no setor;
- Busca de soluções e melhorias que permitam reduzir o número de defeitos e de reclamações por parte dos clientes;
- Implementação de melhorias e análise dos resultados obtidos com a implementação das mesmas;

- Contacto e sensibilização dos colaboradores para importância da qualidade e da execução de ações que contribuam para a qualidade;

1.3. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Sendo o principal objetivo deste trabalho a implementação de melhorias que visam o incremento da qualidade no setor de forjamento a frio, torna-se relevante que primeiramente se faça uma análise dos problemas que o setor enfrenta.

O principal foco de uma empresa é cumprir as expectativas dos seus clientes e mantê-los satisfeitos, por isso, a forma de se perceber o que pode ser melhorado de maneira rápida e eficaz foi proceder a um reconhecimento das reclamações e defeitos apresentados pelos clientes no último ano civil. Neste sentido foram analisadas as reclamações mais relevantes do ano de 2021, estando elas apresentadas graficamente na figura 2.

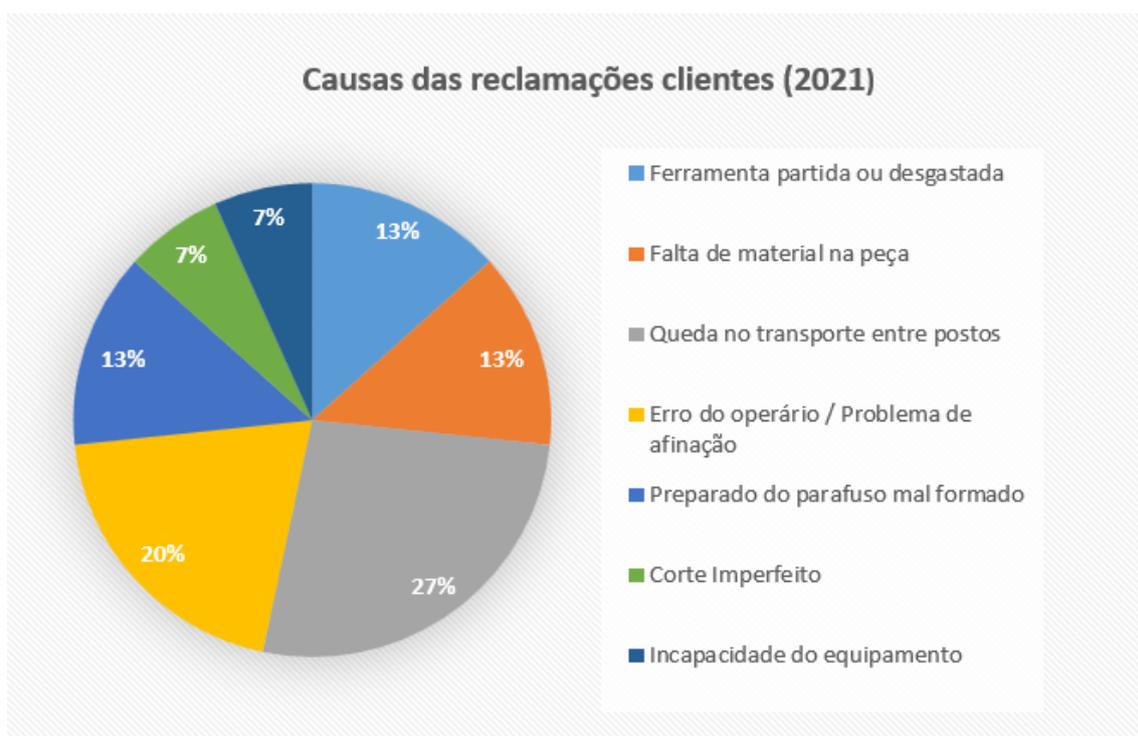


Figura 2: Gráfico com causas das reclamações dos clientes (2021)

Como se constata pelo gráfico apresentado acima, o foco dos problemas que causam reclamações por parte dos clientes são: a queda das peças durante a transporte de um posto para outro, culminado na chegada ao cliente de peças inacabadas; erros por parte dos

operários na afinação e manutenção das ferramentas; e a falta de material nas peças provocada por uma má alimentação dos equipamentos.

Para além dos problemas mencionados anteriormente (causadores da maioria das reclamações) existem outros como incapacidade dos equipamentos de produzir as peças que lhes foram alocadas, principalmente em peças de maiores dimensões que exigem maior esforço por parte do equipamento para provocar as deformações necessárias ou problemas no corte do arame que sendo feito por rebentamento, impede que as peças tenham o acabamento desejado.

Em suma, todos estes problemas, estão primeiramente relacionados com a falta de processos normalizados e bem definidos que permitam a realização de setups rápidos e fiáveis e a manutenção apropriada das ferramentas, em segundo lugar, com o uso abusivo de métodos de tentativa-erro tanto no projeto de ferramentas como no *setup* dos equipamentos e por último, com a falta de capacidade dos equipamentos de produzir produtos com os níveis de qualidade exigidos pelo mercado atualmente.

Esta análise servirá de guia e motivação para o trabalho que será desenvolvido nos próximos capítulos onde serão apresentadas propostas de melhoria que visam colmatar estes problemas, causadores de defeitos que culminam em reclamações por parte dos clientes.

1.4. GUIA DE LEITURA

Este documento é composto por 6 capítulos: 1- Introdução, 2 – Revisão Bibliografia, 3 – Melhorias idealizadas para os equipamentos, 4 – Redução do tempo de *setup*, 5 – Melhoria Contínua, 6 – Considerações Finais;

No primeiro capítulo, no qual este guia de leitura se inclui, é feito um enquadramento do tema deste projeto, é feita a apresentação da empresa onde foi feito o seu desenvolvimento e são identificados os objetivos que se pretendem atingir. Para além disso, são evidenciadas as reclamações dos clientes e os defeitos recorrentes no setor do forjamento a frio que serviram de motivação para a elaboração deste trabalho.

No segundo capítulo surge a revisão bibliográfica onde são apresentados conceitos teóricos importantes para interpretação e o desenvolvimento do projeto estando dividido em duas temáticas principais: o forjamento a frio e a metodologia *SMED*.

No terceiro capítulo são apresentadas as melhorias que foram idealizadas e desenvolvidas para os equipamentos de forjar a frio com vista a resolver dois dos problemas que mais causam complicações de qualidade no setor: a má alimentação dos equipamentos e a mistura de peças inacabadas com as peças conformes.

O quarto capítulo é dedicado à aplicação da metodologia *SMED* com vista a reduzir os tempos de setup e a simplificar e organizar todas as atividades inerentes a esse processo de forma a ganhar produtividade e ao mesmo tempo reduzir o erro humano.

No quinto capítulo é feita uma exposição sobre a dificuldade e a importância da sensibilização dos operadores quando se introduzem novas metodologias e novas tarefas.

Para finalizar, no último capítulo será feito um balanço final do projeto onde serão apresentadas todas as conclusões e serão perspetivados trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos teóricos que servirão de base para a elaboração desta dissertação.

Inicialmente será tratado o forjamento a frio, com a exposição de conceitos fundamentais e a abordagem de assuntos como os processos e os equipamentos utilizados, o projeto de ferramentas e as vantagens e fraquezas desta tecnologia de fabrico quando comparada com outras.

De seguida será abordada a metodologia SMED, fazendo-se uma revisão dos seus conceitos, benefícios e métodos que servirão de sustento para se alcançar uma redução dos tempos de *setup*.

2.1. FORJAMENTO

O Forjamento é um processo de fabrico que envolve esforços de compressão sobre metais que tendencialmente levam a que o material assuma a forma da ferramenta conformadora. É um processo que é frequentemente caracterizado pela temperatura à qual é efetuado, podendo ser realizado em condições de temperaturas operacionais diferentes, a quente, a morno ou a frio.

Este é o mais antigo processo de conformação de metais, com origem no trabalho dos ferreiros há muitos séculos atrás. No forjamento, uma peça inicial, um tarugo por exemplo, é plasticamente deformada entre duas ferramentas ou matrizes para se obter a configuração final desejada. Assim, uma peça de geometria simples é transformada numa peça de geometria complexa. As ferramentas detêm a geometria desejada e exercem pressão sobre o material deformável através da interface ferramenta/material. O trabalho braçal do ferreiro foi substituído na Revolução Industrial e, atualmente, existe maquinaria moderna com tecnologias de forjamento avançadas. As máquinas são capazes de produzir peças que vão desde simples parafusos e alfinetes até às mais complexas, como asas e turbinas de avião.

O forjamento é uma tecnologia de fabrico muito baseada no empirismo e na experiência. Ao longo dos anos, muito *know-how* e experiência foram acumulados neste

2.2.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO FORJAMENTO A FRIO

O forjamento a frio conta com uma série de vantagens quando comparado com o forjamento a quente e a outros processos de fabrico. Relativamente ao forjamento a quente beneficia do facto de não haver custos com energia para o aquecimento do material, para além disso, visto que se realiza abaixo da temperatura de recristalização do metal proporciona melhores acabamentos superficiais e melhores propriedades mecânicas e possibilita o fabrico de componentes com tolerâncias mais apertadas (Schaeffer, 2001; Klocke, 2013). Quando comparado com outros processos de fabrico particularmente com processos de maquinagem está demonstrado que o forjamento a frio providencia melhores propriedades mecânicas, nomeadamente um aumento na resistência à tração e um aprimoramento da taxa de recuperação do material. Para além disso as velocidades de produção são extremamente elevadas quando comparadas com as de qualquer processo de maquinagem, muitas vezes na ordem das dezenas de milhares de peças por hora, e os desperdícios de material são muito reduzidos, pelo facto de geralmente não haver rebarbas e de se produzir pouca ou nenhuma aparas (Jo et al., 2021).

No entanto, todos estes benefícios são acompanhados de algumas desvantagens. Os custos das ferramentas para o forjamento a frio podem ser significativos, de 5.000€ a 25.000€ para um conjunto de ferramentas, dependendo do quão complexa é a geometria da peça. Para além disso são necessários equipamentos capazes de exercer pressões elevadas, e as ferramentas estão sujeitas a grandes esforços. A necessidade de se exercerem grandes pressões deve-se ao processo de encruamento pelo qual a peça que está a ser deformada passa durante a deformação. Isto não acontece quando o processo é feito a quente, pois, simultaneamente ao encruamento, a microestrutura é recristalizada, através dos processos dinâmicos de recuperação e recristalização, o que facilita a deformação do material (Santos, 2021).

O tempo de conceção do projeto e preparação das ferramentas para fazer as peças forjadas a frio é frequentemente medido em semanas, muito mais tempo do que seria necessário para programar e produzir a mesma peça num torno CNC ou num centro de maquinagem.

Dependendo da fábrica e do tipo de peça, as quantidades a produzir para que um certo projeto seja viável economicamente são grandes. Normalmente o número de peças

para que uma encomenda seja viável são na ordem dos milhares, para peças especiais com grandes dimensões, e na ordem de centenas de milhares ou milhões para o caso de pequenos parafusos, (How it works – Cold Forming makes fasteners and a lot more, 2008).

2.2.2. PROJETO NO FORJAMENTO A FRIO

Os fenômenos físicos que descrevem as operações de forjamento são difíceis de expressar de forma quantitativa e objetiva. O fluxo do metal, o atrito na interface ferramenta/material, a geração e transferência de calor durante o fluxo plástico, e as relações entre microestrutura/propriedades e as condições do processo são difíceis de prever e de analisar. Muitas vezes na produção de peças, são necessárias várias operações de forjamento (pré-forma) para transformar a geometria inicial simples numa geometria complexa, sem causar falha ou degradação das propriedades do material, (Altan, Ngaile & Shen, 2004).

Conseqüentemente, o objetivo central de qualquer método de análise é ajudar no projeto do forjamento e/ou nas sequências de pré-forma. Para uma determinada operação, seja de preparação ou acabamento, o seu projeto consiste essencialmente em:

- a) estabelecer as relações cinemáticas (forma, velocidades, taxas de deformação, deformações) entre a parte deformada e não deformada, ou seja, prever o fluxo de metal;
- b) estabelecer os limites de deformação, ou seja, determinar quantas etapas vão ser necessárias e se é possível formar a peça sem falhas internas e superficiais;
- c) prever os esforços e as tensões necessárias para executar a operação de forjamento para que as ferramentas e os equipamentos possam ser projetados e selecionados;

O projeto de uma sequência de forjamento com várias etapas envolve a definição do número de estágios necessários juntamente com as suas formas e as suas dimensões. Os melhores projetos para operações de pré-forma são caracterizados pela sua capacidade de obter uma distribuição adequada do material, este é um dos aspetos mais importantes nos processos de forjamento a frio. Tradicionalmente, o projeto da sequência de forjamento é realizado usando principalmente diretrizes empíricas, experiência e tentativa e erro, o que resulta num longo tempo de desenvolvimento do processo e altos custos de produção. O

uso de técnicas de simulação auxiliadas por computador na conformação de metais antes dos testes físicos pode reduzir o custo e o tempo do projeto do processo (Bassan, 2014).

Na figura 3 está ilustrado um exemplo de uma sequência de pré-formas onde se pode ver a evolução da peça ao longo do processo. Para além disso podem-se ver os diferentes punções e matrizes que têm que ser projetados para cada etapa de forma a atingir as deformações pretendidas em cada estágio.

Neste caso, o exemplo apresentado na figura 4 refere-se a uma peça que posteriormente necessita de ser acabada por maquinagem devido às limitações do processo de forjamento. Este tipo de procedimento, de primeiro se fabricar uma peça *near-net shape* por forjamento e depois finalizá-la por maquinagem, quando comparado com a exclusiva utilização da maquinagem para fabricar esta peça, permite uma grande poupança de material e está-se a transformar num procedimento cada vez mais recorrente hoje em dia.

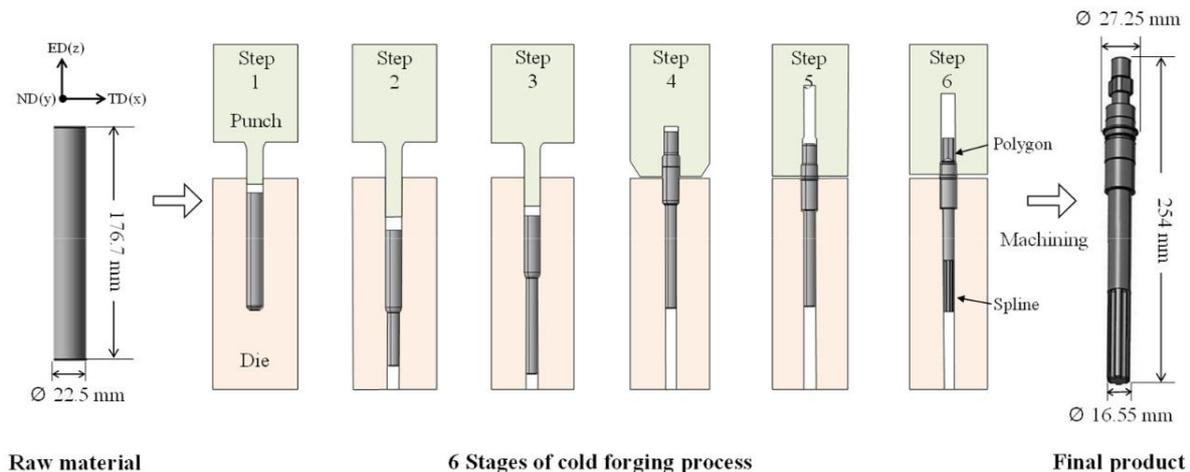


Figura 4: Etapas do processo de fabrico de uma peça por forjamento a frio (Jo et al, 2021)

2.2.2.1. FERRAMENTAS DE FORJAMENTO A FRIO

No forjamento a frio, para o fabrico de uma qualquer referência, o conjunto de ferramentas a utilizar é normalmente composto, pelo menos, por: punções, matrizes, contrapunções, calços de pressão e extratores. O conhecimento sobre o *design* e as funções de cada uma destas ferramentas é fundamental na hora de se realizar o projeto de um conjunto de ferramentas funcional e duradouro. De seguida serão apresentadas de forma

mais pormenorizada as funções de cada uma destas ferramentas (Altan, Ngaile & Shen, 2004).

Punção

O punção é a parte da ferramenta que forma a superfície interna da peça numa extrusão inversa. Numa extrusão direta é responsável por empurrar a peça para dentro de uma matriz. Neste tipo de extrusão, o desgaste do punção normalmente não é um problema. Na extrusão reversa o punção é submetido a cargas de compressão e flexão o que aumenta o desgaste e a temperatura na ponta punção, especialmente em pressas de altas velocidades. Dependendo do tamanho, da forma, da carga e do desgaste tanto aços ferramenta como carbonetos cimentados podem ser selecionados como material.

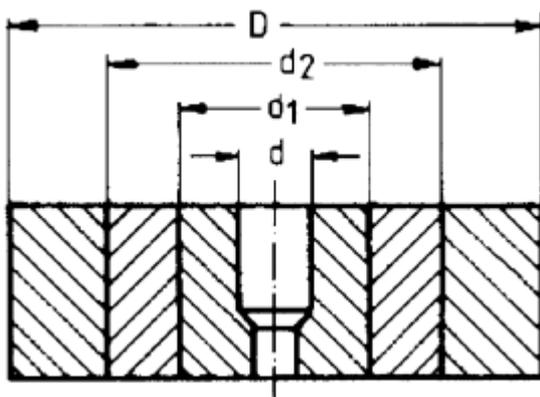
Matriz

A matriz é a parte do conjunto da ferramenta que contém a peça e lhe dá a forma externa. Normalmente as matrizes são reforçadas por um ou mais anéis de tensão.

Na figura 5 está apresentada uma matriz com dois anéis de tensão que têm como função aumentar a vida útil da ferramenta retardando a sua fratura (Yamanaka et al, 2002).

Estes anéis são construídos com diferentes materiais dependendo dos requisitos de tenacidade e de resistência ao desgaste.

Dependendo do tamanho, da forma, da carga e do desgaste tanto aços ferramenta como carbonetos cimentados podem ser selecionados como material.



D – Diâmetro exterior do segundo anel de tensão;

d2 – Diâmetro exterior do primeiro anel de tensão;

d1 – Diâmetro exterior da matriz;

d – Diâmetro do furo da matriz;

Figura 5: Matriz com dois anéis de tensão (Altan, Ngaile & Shen, 2004)

Contra-Punção

O contrapunção é a parte da ferramenta que usualmente dá forma à base da peça e que no fim da deformação a ejeta da matriz. O contrapunção é submetido a tensões semelhantes às que ocorrem nos punções. Dependendo do tamanho, da forma, da carga e do desgaste tanto aços ferramenta como carbonetos cimentados podem ser selecionados como material.

Calços de pressão

Os calços de pressão são um bloco de material que suporta e espalha a carga atrás do punção ou da matriz. É importante que tenha espessura suficiente para distribuir a carga adequadamente e evitar flexões. É essencial que tenham um grau elevado de paralelismo e quadratura. O material de que são feitos tem que lhes fornecer alta resistência à compressão, normalmente utilizam-se aços ferramenta.

Extratores

Os extratores são responsáveis por ejetar a peça da matriz, usualmente não fazem diretamente parte da operação de forjamento. O material utilizado depende da sua secção e da pressão de ejeção. Normalmente utilizam-se aços ferramenta.

A durabilidade das ferramentas é um parâmetro de grande importância no forjamento a frio já que influencia o custo de todo o processo e o custo final da peça. A vida de uma ferramenta depende das condições de produção, dos tipos de material usados, das capacidades dos operadores e da qualidade da própria ferramenta. A qualidade da própria ferramenta é afetada pelo seu design, pelo seu processo de fabrico e pelos tratamentos térmicos e de superfícies à qual foi sujeita.

2.2.2.2. PROCESSOS UTILIZADOS NO FORJAMENTO A FRIO

A tecnologia de forjamento a frio está baseada em três processos fundamentais. De salientar que os três processos que serão apresentados de seguida estão depois subdivididos em diferentes tipos de deformações com princípios teóricos bem definidos que permitem que se fabrique uma grande variedade de peças por estes métodos.

Extrusão Direta

Método para reduzir o diâmetro, onde, dependendo da percentagem de redução, o material flui na cavidade de menor diâmetro. Este método está ilustrado na figura 6.

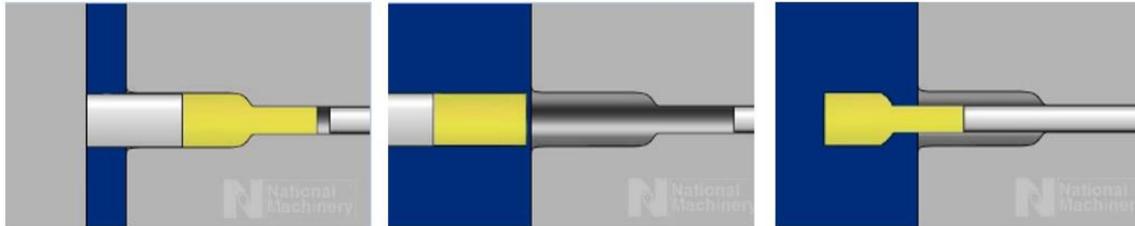


Figura 6: Etapas do processo de extrusão direta

Extrusão Inversa

Método para fazer furos ocos, onde o material flui para trás em torno de um punção penetrante, como se pode ver na figura 7.

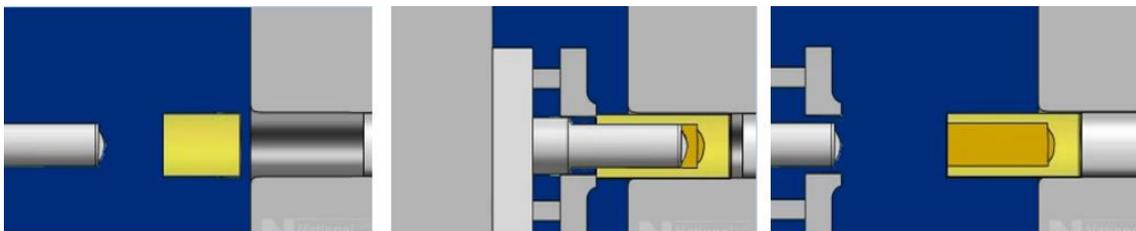


Figura 7: Etapas do processo de extrusão inversa

Upset

Método para formar cabeças em fixadores, onde o material é retorcido na face das matrizes para produzir uma forma específica, tal com se pode ver na figura 8.

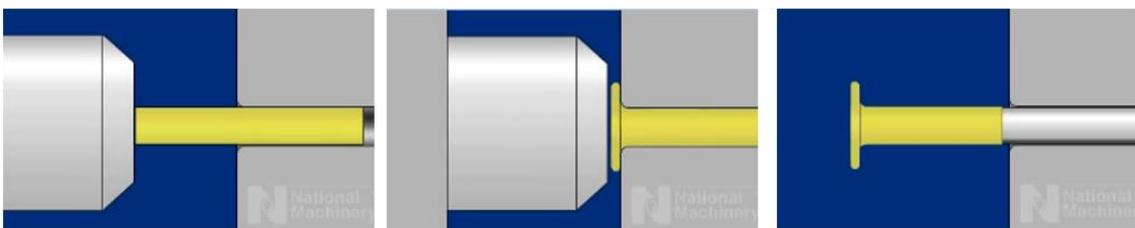


Figura 8: Etapas do processo de *Upset*

As máquinas mais recentes de conformação a frio, possuem normalmente de uma a sete estações de matrizes, e em frente uma série de punções, que geralmente se movem horizontalmente. Uma aplicação para a qual o forjamento a frio é normalmente usado é para fazer parafusos, processo semelhante ao exemplo mostrado na figura 9 que no caso representa uma máquina com uma matriz e dois golpes (punções). Existe uma matriz, que tem o diâmetro e a forma da haste do parafuso que está a ser formado e, o material é golpeado nessa matriz com dois punções diferentes, um após o outro.

Há um limite para o nível de deformação a que se pode submeter o material com um único golpe, por isso são frequentemente necessários pelo menos dois golpes para criar a geometria pretendida para a cabeça. O primeiro golpe, de pré-forma ou preparador, provoca uma deformação que se assemelha a uma tulipa.

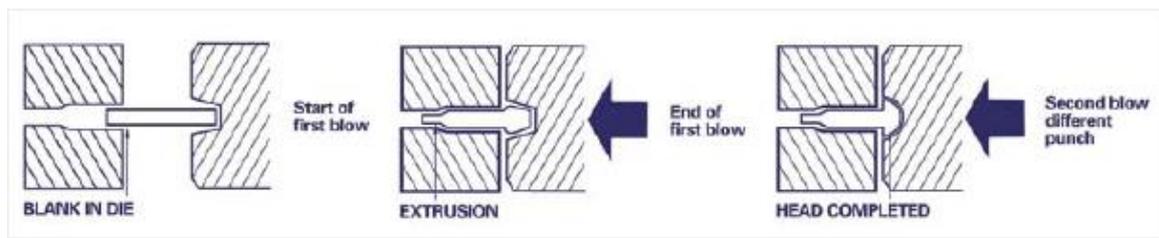


Figura 9: Procedimento de fabrico de parafusos

Em seguida, um mecanismo de deslocamento afasta o primeiro punção e coloca o segundo punção na posição. O segundo golpe serve para produzir a forma final da cabeça. Após o segundo golpe, um extrator empurra a peça para fora da matriz.

Numa máquina com várias etapas, ou seja, com várias matrizes, há um mecanismo de transporte com pinças que agarram a peça e a movem de uma estação (matriz) para a próxima. Se necessário, o mecanismo de transporte pode girar a peça 180 graus para que o próximo punção atinja a outra extremidade da peça.

A forma do metal mais frequentemente utilizada no forjamento a frio é arame, com a possibilidade de se utilizar uma grande variedade de diâmetros. Vem em grandes bobinas, tal como a que se pode ver na figura 10, conveniente para alimentação de máquinas que fazem muitas peças por minuto.



Figura 10: Bobina de arame para alimentar máquina de parafusos

Quando o metal é comprimido dentro de um molde, é importante introduzir apenas a quantidade certa de material no molde, muitas vezes dentro de mais ou menos um por cento, ou até menos. Pouca quantidade de material não preenche o molde, fazendo uma peça com as dimensões erradas. Demasiado material pode resultar numa peça malformada, ou produzir uma rebarba que precisa de ser removida. Em alguns casos pode até fazer com que a matriz se parta quando o punção atinge o material. As máquinas de forjamento a frio são concebidas para cortar um comprimento preciso de arame. O diâmetro do arame também deve ser preciso.

2.2.3. ATRITO E LUBRIFICAÇÃO

No forjamento, a deformação do metal é causada pela pressão transmitida das ferramentas (punções e matrizes) para a peça que está a ser deformada. Para além disso é um processo que apresenta movimentos repetitivos e elevadas cadências de produção, onde se exercem grandes pressões sobre as ferramentas. Portanto, as condições de atrito na interface ferramenta/peça assumem um papel muito importante, influenciando outros

fatores como o fluxo do material, a ocorrência de defeitos internos e superficiais, as tensões que atuam nas matrizes e os requisitos de carga e de energia necessários, (Altan et al., 1983).

Na figura 11 (a) está representado um fenômeno de *upsetting* de um *billet* cilíndrico. Como se pode ver no exemplo apresentado, a existência ou não de atrito, ou a existência de muito ou pouco atrito influencia parâmetros do processo de fabrico. Nesta figura pode-se verificar a ação da variável atrito na tensão normal resultante. Quando não existe atrito a peça deforma-se uniformemente e a tensão normal resultante, σ_n , é constante ao longo do diâmetro. No entanto, a figura 11 (b) mostra que, sob condições reais, onde está presente alguma tensão de atrito, τ , a deformação da peça não é uniforme. Como resultado a tensão normal, σ_n , aumenta desde o diâmetro exterior para o centro da peça e a força total de *upsetting* nestas condições é maior do que no caso da não existência de atrito (Altan et al, 2004).

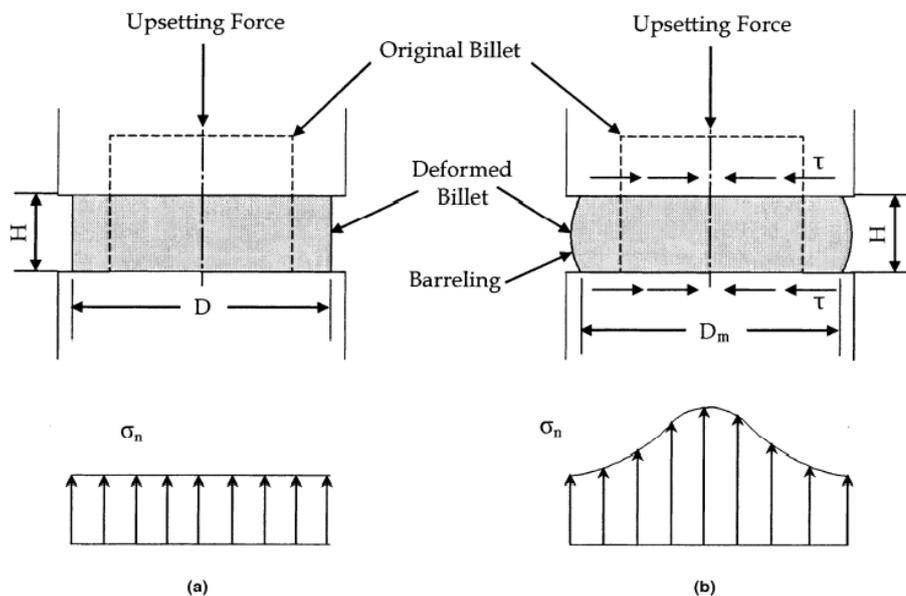


Figura 11: Upsetting de um bilhet cilíndrico. (a) Sem atrito. (b) Com atrito

A correta aplicação de lubrificantes permite minimizar o atrito e conseqüentemente melhorar o fluxo de material durante o processo, além disto minimiza a troca de calor entre o *billet* e a ferramenta, remove o calor da ferramenta e diminui o desgaste entre as superfícies da ferramenta e do *billet*. É, portanto, evidente que uma aplicação ponderada e

adequada de lubrificantes assume uma importância significativa no forjamento a frio e traz benefícios incontestáveis (Accadrolli, 2020).

2.2.3.1. CARACTERÍSTICAS DOS LUBRIFICANTES USADOS NO FORJAMENTO

Na conformação de metais, o atrito é controlado através da utilização dos lubrificantes apropriados. É expectável que o lubrificante utilizado tenha certas características e que desempenhe algumas, senão todas, as seguintes funções (Schey, 1983):

- Reduzir o atrito de deslizamento entre a ferramenta e a peça deformada. Isto é conseguido usando um lubrificante de alta lubricidade;
- Atuar como um agente de separação e evitar a adesão e gripagem entre a peça e a ferramenta;
- Providenciar boas propriedades de isolamento de forma a reduzir a transferência de calor entre a ferramenta e a peça;
- Conferir inércia para prevenir ou minimizar reações que iram degradar as ferramentas e as peças devido às temperaturas de conformação;
- Ser não abrasivo de forma a reduzir a erosão e o desgaste da ferramenta;
- Estar isento de componentes poluentes e tóxicos e não produzir gases desagradáveis ou perigosos;
- Ser facilmente aplicável e removível tanto das ferramentas como das peças;

2.2.4. MÁQUINAS DE FORJAMENTO A FRIO

O desenvolvimento contínuo da tecnologia de forjamento requer uma compreensão sólida e fundamental das capacidades e características do equipamento. O equipamento influencia o processo de forjamento, uma vez que afeta a taxa de deformação e determina a taxa de produção. Os requisitos de um determinado processo de forjamento devem ser compatíveis com as características de carga, energia, tempo e precisão de uma determinada máquina de forjamento.

Os desenvolvimentos na indústria de forjamento são grandemente influenciados pela cada vez maior exigência mundial nos produtos fabricados e pela procura por componentes mais complexos e materiais mais difíceis de forjar. As necessidades presentes e futuras da indústria aeroespacial, o aumento da procura por sistemas de energia estacionários, motores a jato e componentes de aeronaves, e a crescente competição tecnológica externa

exigem atualização contínua da tecnologia atual. Então, o uso mais eficiente do equipamento de forjamento existente e a instalação de máquinas mais sofisticadas tornaram-se necessidades incontornáveis, (Altan, Ngaile & Shen, 2004).

O desenvolvimento em todas as áreas de forjamento tem como objetivos:

- (a) aumentar a taxa de produção;
- (b) melhorar as tolerâncias de forjamento;
- (c) reduzir custos, minimizando as perdas de refugo, reduzindo as etapas de pré-forma e aumentando a vida útil da ferramenta;
- d) expandir a capacidade para forjar peças maiores e mais complexas;

De seguida serão enfatizados essencialmente dois equipamentos, a *Carlo Salvi RF-550-SV* de dois golpes e a máquina multi-etapas com 5 golpes, *Multipress MP 510*. O motivo para serem apresentados estes dois equipamentos deve-se ao facto de serem representativos dos vários tipos de máquinas existentes e de serem os equipamentos sobre a qual recairá grande parte do conteúdo deste trabalho.

2.2.4.1. CARLO SALVI RF-550-SV

A máquina de forjamento *Carlo Salvi RF-580-SV* produz essencialmente parafusos de pequenas dimensões. Existe uma única matriz onde o material é golpeado por dois punções (rodeados a vermelho na figura 12). Na figura 12 pode-se ver à esquerda uma imagem do interior da máquina em questão e à direita uma imagem do seu exterior.



Figura 12: Equipamento *Carlo Salvi RF-550-SV*

O primeiro punção é um preparador que tem a função de provocar uma primeira deformação, formando um cabeça em forma de tulipa. O segundo punção é um acabador que tem como função dar forma final à cabeça do parafuso.

Na figura 13 estão ilustradas as etapas de produção de dois tipos de parafusos diferentes. Sinalizado a verde está representada a quantidade de arame necessária para cada um dos parafusos, que é cortada pela máquina. A cor amarela encontra-se o resultado do trabalho do primeiro punção sobre o material previamente cortado e introduzido na matriz. Finalmente a azul está sinalizado o que resulta da aplicação do punção acabador sobre o material preparado na etapa anterior.

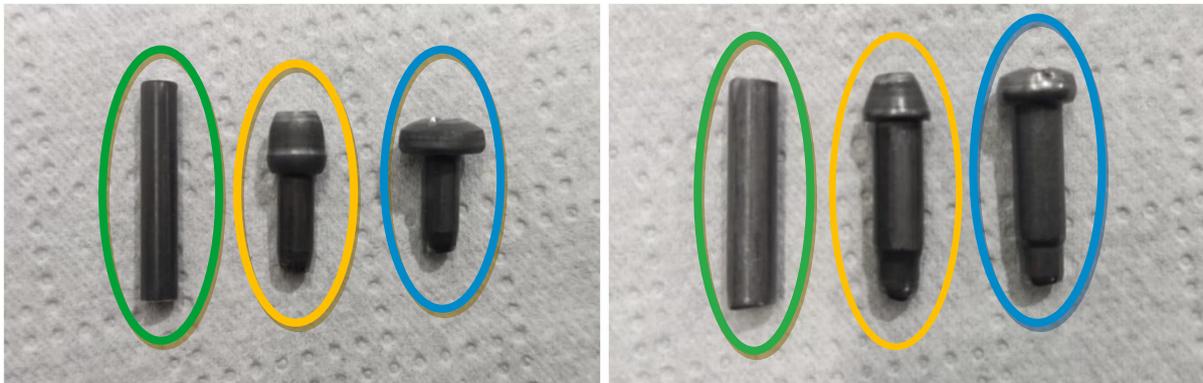


Figure 13: Sequência de produção na Carlo Salvi RF-550-SV de dois tipos de parafusos

Na tabela seguinte estão apresentadas as principais especificações técnicas da máquina Carlo Salvi RF-500- SV. Esta informação tem de ser tida em consideração cada vez que se aloca uma referência a um equipamento de forma que se garanta que o equipamento possuí as características necessárias para a produção dessa mesma referência.

Tabela 1: Especificações técnicas da máquina Carlo Salvi RF-500- SV

Número de matrizes	1
Número de punções	2
Diâmetro do arame	2-5 mm
Máximo comprimento de haste	50 mm
Diâmetro máximo de cabeça	10 mm
Velocidade máxima	500 peças/min
Força máxima de estampagem	110 kN
Potência Instalada	6 Kw

2.2.4.2. MULTIPRESS MP 510

A Máquina de forjar *Multipress MP 510* possui cinco etapas (cinco matrizes e cinco punções, estando os punções rodeados a vermelho na imagem à esquerda da figura 14). Para além de parafusos produz peças mais complexas e maiores que a máquina de dois golpes apresentada anteriormente incluindo peças que exigem operações de corte de material.

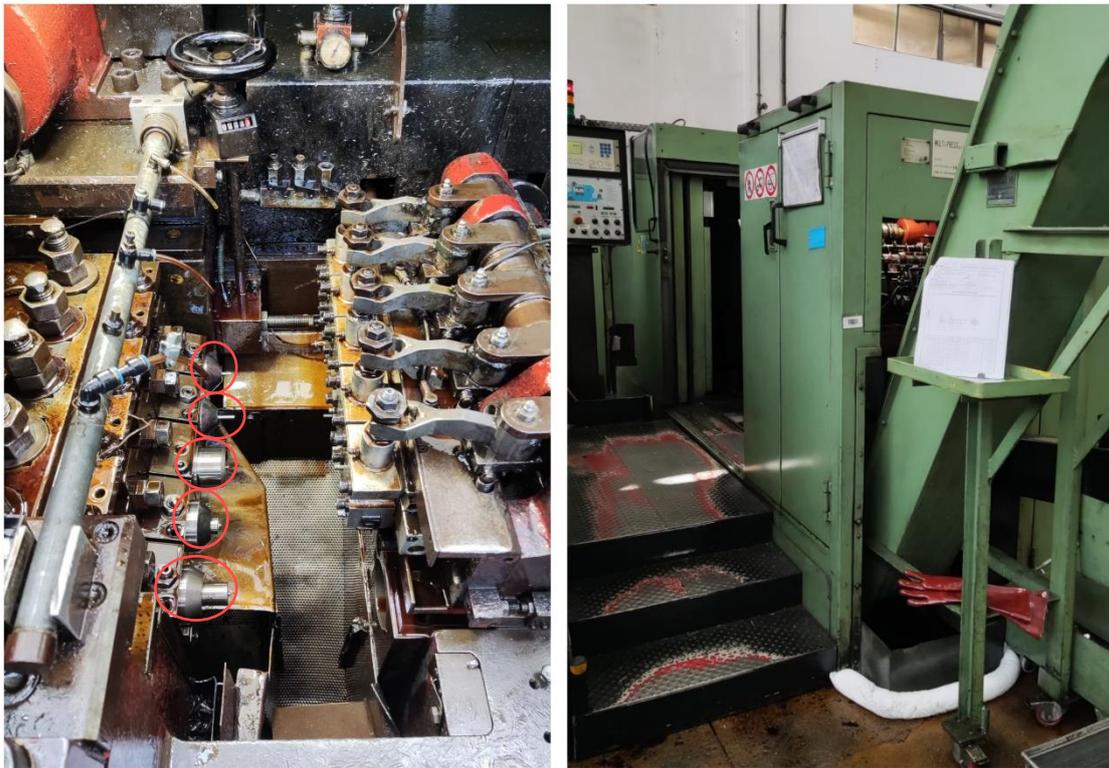


Figura 14: Equipamento *Multipress MP 510*

Cada etapa é composta por um par formado por uma matriz e um punção. A peça vai sendo transportada ao longo das etapas por um sistema de pinças e vai sendo deformada até atingir, na última etapa, a forma final pretendida. Na figura 15 é possível ver duas peças diferentes que são produzidas nesta máquina. Cada elemento na imagem corresponde a uma etapa na produção da peça sendo que o elemento mais à esquerda corresponde à primeira deformação e o elemento mais à direita corresponde à peça final.



Figura 15: Etapas de fabrico de duas peças produzidas na *Multipress MP 510*

Na tabela 2 que se segue estão apresentadas as especificações técnicas da máquina *Multipress MP 510*. De salientar (novamente) a importância desta informação quando se parte para a escolha do equipamento para o fabrico de determinada peça. Esta escolha tem de ser feita antes de se avançar para o projeto da ferramenta pois o *design* da ferramenta vai ser influenciado pela máquina para a qual vai ser concebida a ferramenta.

Tabela 2: Especificações técnicas da máquina *Multipress MP 510*

Número de matrizes	5
Número de punções	5
Diâmetro máximo do arame	12 mm
Velocidade máxima	50-200 peças/min
Força máxima de estampagem	1 200 kN
Potência Instalada	30 kW

2.3. AUTOMAÇÃO NO FORJAMENTO

A industrialização das economias ao redor do mundo deve muito ao forjamento. Sem a capacidade de forjar aços e outros metais, ao longo do último século e meio não teríamos as peças necessárias para fabricar carros, construir aviões, explorar petróleo e metais e construir caminhos de ferro.

Como em qualquer outro processo que envolva trabalho manual, a automação está a começar a impactar esta indústria. A indústria do forjamento, apesar de estar atrasada em relação a muitas outras, tem vindo a promover cada vez mais atualizações e inovações relevantes no campo da automação, tanto ao nível da conceção de novos equipamentos como na reconstrução e melhoramento dos equipamentos já existentes (Cutler, 2019).

A competitividade do mercado e a constante pressão financeira que as indústrias atualmente enfrentam exigem que as empresas apresentem padrões diferenciadores de elevada qualidade e maior valor acrescentado. A automação é apresentada como um meio de atingir esses padrões, contribuindo para os seguintes aspetos: uma qualidade melhorada, através da consistência da fabrico e redução da variabilidade; tolerâncias de fabrico mais apertadas; um aumento do volume de produção; redução de custos; aumento da segurança dos operadores; e redução da dependência de mão de obra difícil de encontrar (Harrison, 2014).

Os ensaios académicos existentes sobre automação no forjamento são poucos, o que contrasta com elevada quantidade de estudos sobre lubrificação, desgaste, danos, e simulações 3D. Apesar da existência de um desenvolvimento relativamente constante por parte dos fornecedores e fabricantes de robôs, os mesmos revelem que tem havido pouco progresso na conceção de aplicações direcionadas para a automação das atividades de forjamento (Cutler, 2019).

O forjamento apresenta um tremendo desafio para se desenvolver automatização dos seus processos de fabrico, uma vez que combina temperaturas variáveis, imensas forças de elevada grandeza, potencialmente destrutivas, e a utilização e acumulação de grandes quantidades de lubrificante em todos os equipamentos. Isto, combinado com o elevado custo de substituição das prensas de forjamento, cuja sua vida útil pode ser de décadas, significa que a adaptação de sistemas automáticos aos equipamentos já existentes é uma

abordagem industrial mais viável, mas que por outro lado menos eficaz que a substituição integral por equipamentos mais modernos.

2.3.1. APLICAÇÕES DA AUTOMAÇÃO NO FORJAMENTO

Atualmente, muitas tarefas manuais estão a substituídas pela "mão" mecânica, como um robô ou servo motores integrados que podem levantar, inserir, e depositar materiais. Mesmo tarefas como as mudanças de ferramentas podem ser completadas de forma automática com o premir de um botão. Abaixo serão apresentadas as tarefas que numa indústria de forjamento poderão ou já estão a ser realizadas de forma automatizada e como tarefas onde os operadores humanos podem ser auxiliados ou substituídos por aplicações da automação (Harrisson, 2014).

- Alimentação de material;
- Corte de material;
- Aquecimento de material;
- Manuseio de peças que se encontram a elevadas temperaturas;
- Trocas de ferramentas pesadas;
- Lubrificação automatizada;
- Sistema de controlo de qualidade;

Como já foi mencionado anteriormente, a abordagem mais convencional na indústria do forjamento é a realização de *retrofitting* aos equipamentos e dos processos já existentes, com a implementação de melhorias e atualizações como as que foram mencionadas nos tópicos acima. São bastos os benefícios destas atualizações, contudo existe um custo associado a estas modificações dos equipamentos, dos processos e das peças que são muitas vezes difíceis de calcular.

2.3.1.1. BRAÇOS ROBÓTICOS

Um fator chave para a progressiva automatização do forjamento é a utilização de braços robóticos. Segundo a *British Automation and Robot Association (BARA)* o mercado é dominado pelas aplicações desta tecnologia no setor automóvel. A tendência, desde 2005, indica que outros setores estão progressivamente a utilizar cada vez mais braços robóticos

nos seus processos. No entanto, na indústria do forjamento o crescimento está-se a dar a um ritmo relativamente baixo.

A implementação de braços robóticos permite às indústrias aumentar a consistência, aumentar o volume da produção, reduzir as horas de trabalho, promover maior segurança aos operadores, baixar os custos de produção e baixar os consumos energéticos, contribuindo neste último caso para a sustentabilidade do ambiente (Harrison, 2014).

O modelo base do projeto de um braço robótico industrial moderno mudou pouco ao longo das duas últimas décadas, no entanto, a confiabilidade e o desempenho destes continuou a evoluir e a melhorar, tornando-se num dos equipamentos mais confiáveis em qualquer processo de fabrico. Um fator chave para estas evoluções tem sido a necessidade de os fabricantes penetrarem nos mercados que apresentam ambientes de produção mais hostis, incluindo-se neles o forjamento (Hutson,2009).

Na figura 16 é possível verificar um braço robótico a realizar a alimentação de uma prensa.

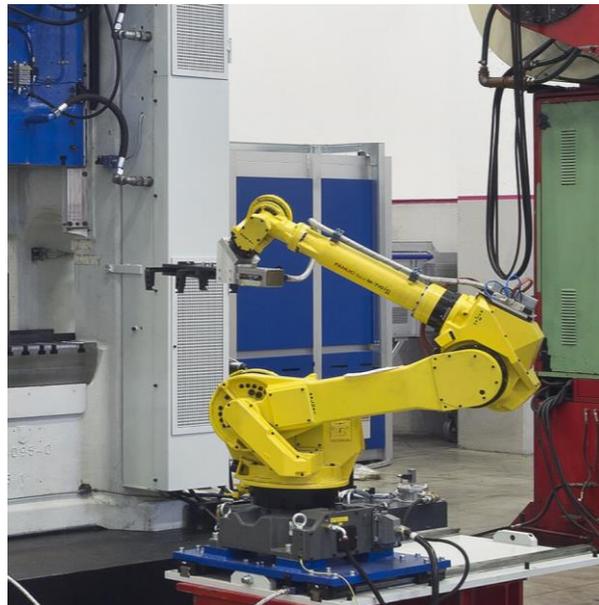


Figura 16: Braço robótico a alimentar prensa vertical

2.3.1.2. LUBRIFICAÇÃO AUTOMATIZADA

A automatização dos sistemas de lubrificação são uma das aplicações mais usuais da automação na generalidade dos processos de conformação. Determinando os parâmetros de concentração específica de lubrificante para uma determinada configuração de peças e temperatura, o processo de lubrificação pode ser gerido por controlo estatístico (Harrison, 2014).

Na figura 17 é mostrado um exemplo de lubrificação automática em processos de extrusão e de encabeçamento.

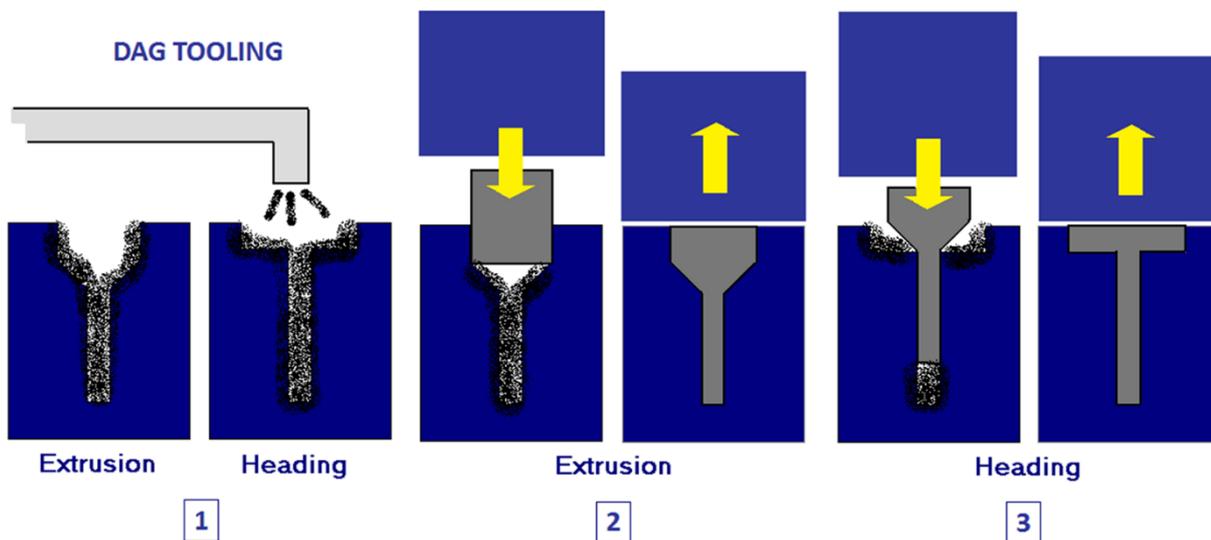


Figure 17: Aplicação de lubrificação automático

As vantagens da lubrificação automática são uma atomização muito fina e precisa e um efeito de redução de temperatura limitados aos locais onde a lubrificação está a ser aplicada, levando a um processo mais estável.

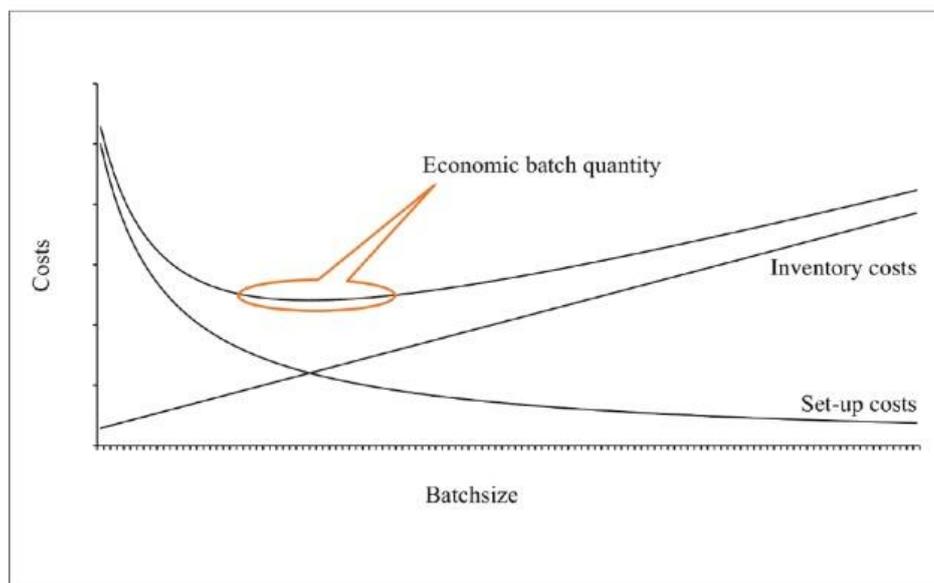
Nos processos de forjamento a variabilidade introduzida por métodos controlados manualmente é uma questão que merece ser abordada. No caso específico da lubrificação, cada operador tende a utilizar uma técnica individualizada o que significa que os produtos finais sofrem variações de acordo com parâmetros como a velocidade do operador ou a quantidade de lubrificante utilizado levando a resultados que podem ser inconsistentes. A automação pode ser utilizada como forma de combater esta variabilidade de processos (Williams, 2022).

2.4. MUDANÇA RÁPIDA DE FERRAMENTA

Os longos tempos de troca de ferramentas são um obstáculo ao uso flexível dos recursos da produção é por isso são um assunto de grande importância para a organização da produção. Posto isto, a redução dos tempos de *setup* é fundamental para se alcançar uma produção otimizada.

Com a competitividade dos mercados atuais, as empresas estão pressionadas a providenciar um crescente nível de performance e para isso pretendem que as suas produções cumpram requisitos como o mínimo de stocks possíveis e o mínimo de *lead time* possível, com zero defeitos e com a máxima qualidade. Para alcançar estes objetivos são utilizadas metodologias com *JIT (Just in time)*, *JIS (Just in sequence)*, *Kanban*, *5 S's* de forma a organizar a produção, gerir stocks e inventários e reduzir ao máximo o número de desperdícios e de processos que não acrescentam valor (Herr,2014)

O gráfico que se segue permite estabelecer uma relação entre o tamanho de lote, os custos de produção, os custos de *setup* e os custos de inventário.



Como é possível verificar pelo gráfico acima, a forma economicamente mais vantajosa de se organizar a produção é com o fabrico de lotes relativamente pequenos que permitam evitar a acumulação de stocks. No entanto, para se alcançar este objetivo é preciso dotar a

produção da flexibilidade necessária, de forma a que seja possível realizar muitas trocas de ferramenta. Para além disso, fruto do aumento número de *setups* é necessário evoluir no sentido de reduzir o custo que cada um deles comporta. Para se alcançar uma redução dos tempos de *setup* organizando e normalizando todas as tarefas inerentes a esse processo será utilizada a metodologia SMED.

Single Minute Exchange of Die (SMED) é um método elaborado inicialmente por Taiichi Ohno e, mais tarde, consolidado por Shigeo Shingo. O grande objetivo desta técnica é a redução de tempo nos processos de *setup* de equipamentos, otimizando os procedimentos, flexibilizando as máquinas e simultaneamente reduzindo custos, (Shingo, 1985). *Setup* é definido como o tempo decorrido pelo conjunto de operações que ocorrem entre o último produto conforme de um lote e o primeiro produto conforme do novo lote de produção. (Melntosh et al, 2007).

Em meados no século XIX, a Toyota produzia uma grande diversidade de automóveis, mas em pequenas quantidades. Para além disso, ambicionava conseguir fabricar com o mesmo equipamento diferentes componentes, evitando ter que adquirir máquinas específicas e dedicadas a um único produto. Para atingir esse fim era, portanto, indispensável efetuar a troca de moldes e ferramentas mais frequentemente. Ao aumentar a frequência das operações de *setup*, ficava clara a pertinência de agilizar esse processo. No sistema de produção em massa, as prensas produziam a mesma referência por períodos muito prolongados, ou então eram efetivamente prensas dedicadas a um componente em exclusivo. As operações de *setup* eram muito demoradas, podendo-se prolongar por dias inteiros, requerendo a intervenção de indivíduos especializados na operação (Bidarra, 2011). O que Ohno e Shingo pretendiam era que os *setups* se tornassem operações rápidas e simples de executar. Além do mais, pretendiam que fossem feitas pelos próprios operadores da fábrica, ocupando este recurso que, no caso de a montagem ser realizada por pessoal especializado, ficaria à disposição durante tempo de *setup*. Para tal, era necessário implementar técnicas, desenvolver sistemas e mecanismos, formar os operadores, treiná-los e motivá-los (Ohno, 1988).

Historicamente, a melhor forma de reduzir os custos inerentes à inatividade dos equipamentos durante os processo de montagem de ferramentas para a produção de uma nova referência baseava-se na produção de grandes lotes permitindo dissipar o tempo perdido por unidade manufaturada. Este é um pensamento que perdura atualmente em

muitos casos com a consequência de esconder o problema ao invés de o procurar analisar e reduzir. Para além disso, o desenvolvimento económico, a competitividade global entre empresas, a oferta de produtos e de opções em larga escala e o facto de nenhum dos intervenientes na cadeia de valor querer ter elevados stocks, exige cada vez mais flexibilidade associada à produção de pequenos lotes (Ferreira, 2018).

2.4.1. MODELO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SMED

Segundo Shingo (1985) existem dois tipos de operações de *setup*, o *setup* interno que corresponde ao trabalho que só pode ser efetuado com o equipamento parado e o *setup* externo que corresponde às atividades que podem ser executados com a máquina em funcionamento. Ainda segundo ele, a metodologia SMED, deve ser aplicada de forma faseada, sendo constituída por quatro estágios conceptuais que serão apresentados de seguida:

Estágio preliminar

Nesta fase o processo de troca de ferramentas é desorganizado e não uniformizado, o que favorece a demora das operações de *setup*. Nesta etapa é fundamental que sejam identificadas todas as atividades do *setup* e o tempo que cada um delas demora a ser cumprida. Devem-se recolher todos os dados significativos e informações acerca do procedimento atualmente realizado.

Estágio 1 – Separação das atividades internas e externas

Nesta etapa é preciso organizar as atividades, especificando e separando as mesmas em tempos internos e tempos externos. Segundo Pinto (2009), uma clara distinção e racionalização deste tipo de operações poderá por si só permitir uma redução de até 30% do tempo.

Estágio 2 – Conversão das atividades internas em externas

O objetivo desta etapa é converter o máximo número de tarefas internas em externas com vista a reduzir a quantidade de tempo que o equipamento se encontra parado. Deve ser elaborado um procedimento operatório, onde serão descritas quais as operações a realizar e qual o material necessário para a mudança de referência. Devem-se padronizar e uniformizar todos os procedimentos e parâmetros possíveis. De forma a

agilizar o processo de troca devem-se utilizar *jigs* e fixadores intermédios que preparam a ferramenta ou molde para a sua instalação na máquina evitando perda de demasiado tempo no ajuste da nova ferramenta, (Lopes et al, 2006). Esta é uma etapa que assume grande importância nesta metodologia e é vista muitas vezes como a sua principal arma. O que acaba por ocorrer em muitos processos é a não aplicação do terceiro estágio, graças aos resultados obtidos pelos dois primeiros estágios, que promovem uma redução do tempo de *setup* de cerca de 30% a 50% (Monden, 1984).

Estágio 3 – Otimização sistemática de todos os aspetos das operações de setup (externa e internas)

O objetivo desta etapa é diminuir ao máximo os tempos de todas as atividades envolvidas no processo de montagem da máquina. Nesta etapa estão contempladas melhorias do equipamento, e de tudo o que está relacionado com ele, como o sistema de armazenamento das ferramentas, a eliminação de ajustes e a implementação de atividades padronizadas. Mesmo não prejudicando o tempo de *setup* as atividades externas devem ser reduzidas ao máximo visto que consomem tempo e recursos.

O SMED é uma técnica que possibilita as empresas de produzirem uma maior variedade de produtos, com ordens de produção e prazos menores, tornando assim os custos de produção extremamente competitivos e potenciando o seu crescimento para se tornarem empresas fiáveis, que atendem às necessidades dos seus clientes (Carbonell, 2013). Alcançar tempos de *setup* reduzidos é vital para se atingir uma produção verdadeiramente eficiente pois o *setup* não apresenta valor acrescentado e o cliente não está disposto a pagar pelo tempo e pelos custos despendidos por ele (Ortiz, 2009).

Esta metodologia requer uma contínua análise do processo para serem alcançados os resultados pretendidos. Sempre que se aplica o SMED são aplicadas novas soluções que resultarão em ganhos produtivos. Tudo isto deve ser suportado por uma base de motivação bastante sólida, partindo da gestão de topo até aos operadores.

2.4.2. BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA SMED

São muitos os ganhos obtidos com aplicação do SMED. Para além da vantagem direta de em muitos casos se conseguir reduzir em mais de 50% o tempo de *setup*, muitos outros benefícios poderão ser alcançados:

➤ Redução de stocks

Os *setups* rápidos são determinantes para empresas que pretendem trabalhar em *Just-In-Time* e com o mínimo de stocks sem valor acrescentado possível. A mudança rápida de referência evita a necessidade de se criar grandes stocks desnecessários que acarretam custos.

➤ Redução de defeitos

As melhorias na qualidade são evidentes quando se produzem lotes mais reduzidos. Os lotes reduzidos obrigam a uma maior eficácia na prevenção da ocorrência de defeitos, de forma a obter um rácio maximizado de peças boas no lote. A frequência de controlo de qualidade pode também ser aumentada, garantindo maior rapidez na atuação sobre a causa raiz, menor propagação dos defeitos e um tratamento do produto não conforme otimizado.

➤ Redução dos prazos de entrega

Setups mais rápidos aliados a uma maior flexibilidade e disponibilidade dos dispositivos permite uma maior rapidez na produção e *lead times* reduzidos (tempo entre o momento do pedido do cliente até à chegada do produto ao mesmo).

➤ Ganhos económicos

Os ganhos económicos associados à implementação do SMED podem ser observados em diversas vertentes. Na diminuição de custos de mão-de-obra envolvida nas longas mudanças, na diminuição de custos de gestão de stocks, no aumento de tempo útil de produção e no aumento de flexibilidade da produção (Amasaka, 2007).

➤ Progressos significativos sem investimentos avultados

Pinto (2008) enfatiza que muitas vezes, é necessário investir para conseguir alcançar *setups* mais rápidos, porém, a vantagem é que esse não é o requisito principal. Criar e implementar modos operatórios bem definidos, formar as pessoas, efetuar modificações simples nos equipamentos e no layout, definir fluxos otimizados, apresentam-se como todo um conjunto de melhorias capazes de conduzir à implementação do SMED de forma notória, criando valor sem investimentos de ordem significativa.

2.4.3. INFLUÊNCIA DA SEQUÊNCIA DE PRODUÇÃO NO TEMPOS DE SETUP

A sequência de produção das referências é outro fator que influencia diretamente e de forma significativa o tempo de *setup*. Quando se procede a uma troca de referência, o

tempo despendido na montagem da nova ferramenta vai ser influenciado pelas características das referências de entrada e de saída, consoante o seu nível de similaridade (Sugai, et al., 2007). Duas referências com características muito dispares levam a operações de *setup* mais demoradas. Por outro lado, duas referências semelhantes podem levar à redução significativa do tempo usualmente gasto no *setup*. Este cenário tem de ser tido em consideração ao nível do planeamento da produção, pois os tempos de *setup* apresentam variações significativas em função da sequência das referências produzidas. O planeamento deve, portanto, construir modelos que definam as sequências de produção mais convenientes com a finalidade de minimizar o impacto negativo que sequência de produção ineficaz pode ter nos tempos de *setup* (Missbauer, 1997; Mileham, et al., 2004).

2.5. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram expostos conteúdos sobre os dois principais assuntos acerca dos quais os conhecimentos são fundamentais para sustentar o desenvolvimento da restante dissertação.

No que toca ao forjamento a frio, foram tratados todos os parâmetros julgados importantes para se partir com uma compreensão completa sobre todas as variantes que compõe o forjamento a frio, desde os seus princípios básicos, passando pela explanação dos seus benefícios e das suas desvantagens, falando sobre projeto e sobre as ferramentas usadas e terminando no tipo de equipamentos utilizados e no seu respetivo funcionamento.

No subcapítulo sobre a metodologia *SMED* foram abordados os seus princípios e as suas vantagens e foram expostos os procedimentos da metodologia que mais à frente serão aplicados na prática.

3. MELHORIAS IDEALIZADAS PARA OS EQUIPAMENTOS

Na tentativa de identificar soluções para a resolução de alguns dos problemas que levam à existência dos defeitos mencionados no capítulo 3, foi decidido que a aplicação de projetos de melhoria nos equipamentos de forjamento a frio seria uma das opções a explorar.

Uma vez que os equipamentos utilizados no forjamento a frio são extremamente caros, não é viável que se estejam a comprar constantemente equipamentos novos que contenham as últimas novidades tecnológicas do mercado e que por isso, estão mais bem preparados para fazer face à crescente exigência de qualidade dos produtos. Por este motivo é necessário (e mais viável economicamente) que se vá procedendo à aplicação de atualizações e melhorias nos equipamentos ao longo das suas vidas úteis.

Foram então idealizadas duas melhorias para aplicar nos equipamentos. A primeira foi a implementação de um sensor no batente. Esta melhoria surge com a finalidade de suprir os defeitos relacionados com a má alimentação das máquinas, que leva a que as peças não tenham a quantidade necessária de material para cumprir as cotas especificadas.

A segunda melhoria idealizada foi a implementação de uma calha com a função de impedir que as peças que caem durante o transporte de posto para posto durante a produção, nas máquina multiestações, se juntem com as peças conformes.

3.1. IMPLEMENTAÇÃO DE SENSOR NO BATENTE

Neste subcapítulo serão explicados os procedimentos seguidos para implementar um sensor no batente das máquinas de forjamento a frio de dois golpes com vista a garantir que há sempre a alimentação da quantidade de arame pretendida.

3.1.1. ENQUADRAMENTO

As máquinas de forjamento a frio são alimentadas por bobinas de arame. O sistema de alimentação da máquina consiste em rodas que puxam a quantidade de arame definida até o arame chocar num batente para posteriormente ser cortado. Na figura 18 pode ver-se uma ilustração do arame a chocar com o batente, estando o batente representado a cor vermelha.

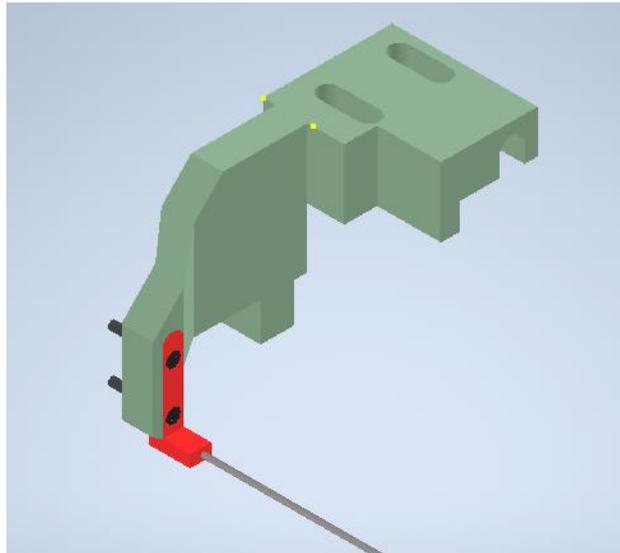


Figura 18: Modelo CAD ilustrativo da função do batente

Por vezes, por motivos que estão apresentados nos pontos abaixo, como por exemplo, deslizamento do arame ou pressões incorretas nas rodas de alimentação, o arame não chega ao batente e conseqüentemente quando é cortado o seu comprimento não é o pretendido, ocorrendo problemas como mau preenchimento das peças ou peças fora das dimensões exigidas.

Causas da má alimentação

- Pressão das rodas de alimentação insuficiente ou excessiva;
- Muito óleo no arame;
- Torções ou entalhes no arame;
- Bobinas de arame muito grandes ou com emaranhados;
- Rodas de alimentação presas;
- Bobina de arame não centralizada na máquina;
- Alisador de arame mal ajustado

Consequências da má alimentação

- Comprimento de arame inconsistente;
- Mau preenchimento da peça;
- Peças fora das dimensões pretendidas;

Quando esta falta de material ocorre é usual que, até que seja detetada a falha, se produzam muitas peças, resultando na necessidade de sucatar grandes quantidades de peças.

Nos casos em que a falha ocorre aleatoriamente durante a produção, ou seja, quando as peças estão a sair especificações pretendidas, de repente saem algumas não conformes e depois voltam novamente a sair com as especificações pretendidas, no meio de milhares de peças boas, as peças não conformes não são notadas e acabam por seguir assim para os clientes.

Na figura 19 está apresentado um exemplo das consequências de uma falha na alimentação do arame.



Figura 19: Exemplo de defeitos causados pela falta de material

Rodeados a vermelho encontram-se parafusos defeituosos devido à falta de material. Neste caso, esta falta de material resultou também em danos para as ferramentas e consequentemente em quebras de produção e custos económicos. Rodeado a verde encontra-se o mesmo parafuso conforme.

Na figura 20 está apresentado outro exemplo onde uma alimentação de arame deficiente resultou na produção de alguns eixos com comprimentos inferiores ao pretendido. Esta falha só foi detetada na operação seguinte porque os eixos mais curtos estavam a danificar os pentes que fazem uma recartilha neste eixo. Mais uma vez, a simples falha na alimentação do arame resultou em danos para a ferramenta e em custos de retrabalho. Para além disso, foi necessário destacar operários para escolher toda a produção e sucatar os eixos curtos.

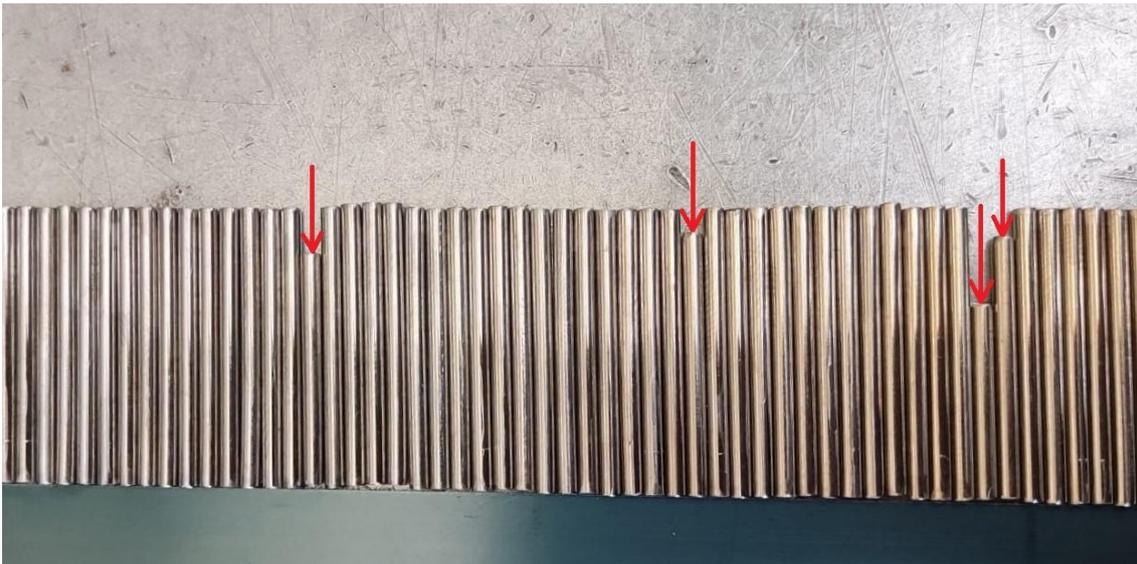


Figura 20: Exemplo de eixos curtos causados pela falta de material

Para resolver este problema, foi decidido implementar no batente um sensor com o objetivo de detetar quando o arame não chega ao batente e assim, parar a produção e alertar o operador para que este possa resolver o problema da má alimentação de material.

3.1.2. TIPO DE SENSOR PARA O BATENTE

Devido à falta de espaço junto ao batente, devido à elevada cadencia de produção destas máquinas, muitas vezes na ordem das 15 000 peças por hora, e devido à ocorrência de choques na zona do batente a escolha do tipo sensor a implementar neste local assume grande importância.

Foi decido que seria utilizado um sensor por massa. Cada vez que o arame chocar com o batente, vai provocar uma corrente elétrica. Assim, isolando o batente do resto da máquina e ligando um fio elétrico ao mesmo é possível saber cada vez que o arame choca com o batente.

3.1.3. ISOLAMENTO DO BATENTE

Como foi dito anteriormente, para utilizar este método de deteção por massa é necessário isolar do resto da máquina o componente onde a corrente elétrica gerada pelo choque de dois metais vai ser verificada.

Posto isto foram projetados os isolantes. Primeiro foram modelados num software CAD e foram feitos os respetivos desenhos técnicos e, posteriormente foram maquinados na serralharia da empresa *ETMA Metal Parts*.

Para isolar o batente da máquina foi feito um casulo em melamina com 1 mm de espessura. O seu modelo CAD e a peça maquinada podem ser vistos na figura 21.



Figura 21: Modelo CAD e peça maquinada do casulo isolante do batente

Para isolar os parafusos que estão a fixar o batente no seu suporte, foram feitos casquilhos em nylon. O seu modelo CAD e a peça maquinada podem ser vistos na figura 22.

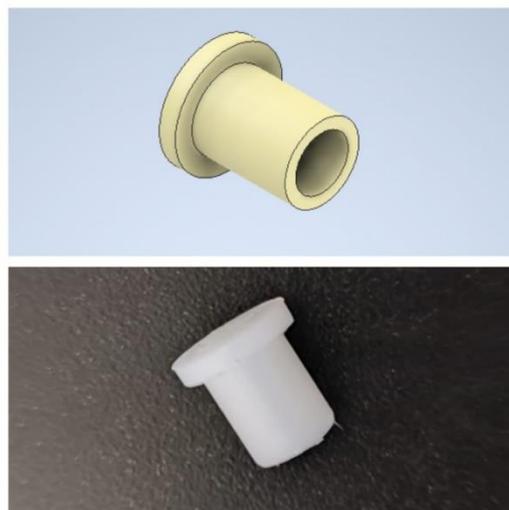


Figura 22: Casquilhos em nylon maquinados e respetivo modelo CAD

3.1.4. MONTAGEM DO SENSOR

Estando o batente isolado é espectável que a corrente elétrica gerada pelo choque do arame no batente percorra os parafusos que se podem ver na figura abaixo. Tendo isso em consideração foi decidido que o fio elétrico, que terá a função de sensor, fosse instalado num dos parafusos com a ajuda de duas porcas.

Na figura 23 está ilustrada a vista frontal e a vista traseira do batente com o sensor incorporado, estando o sensor representado a castanho. O modelo foi realizado no software *Autodesk Inventor*.

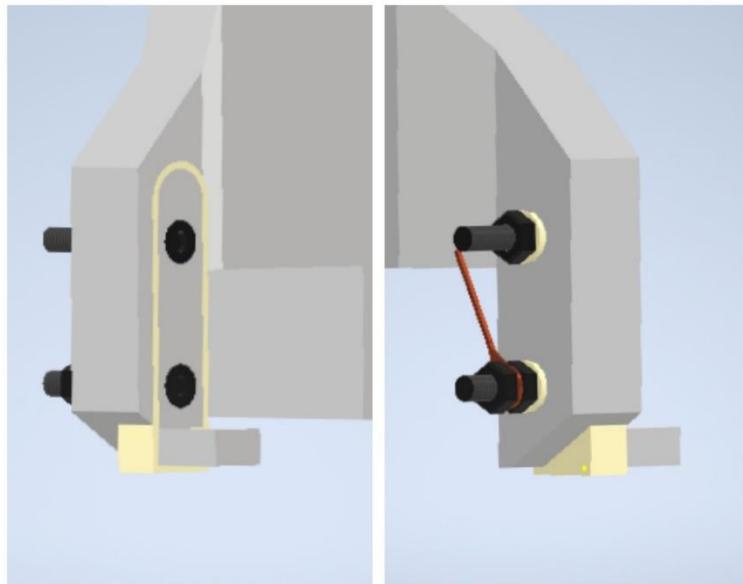


Figura 23: Modelo CAD da montagem dos componentes no batente

Na figura 24 pode ver-se a montagem final no batente de todos os componentes falados anteriormente.

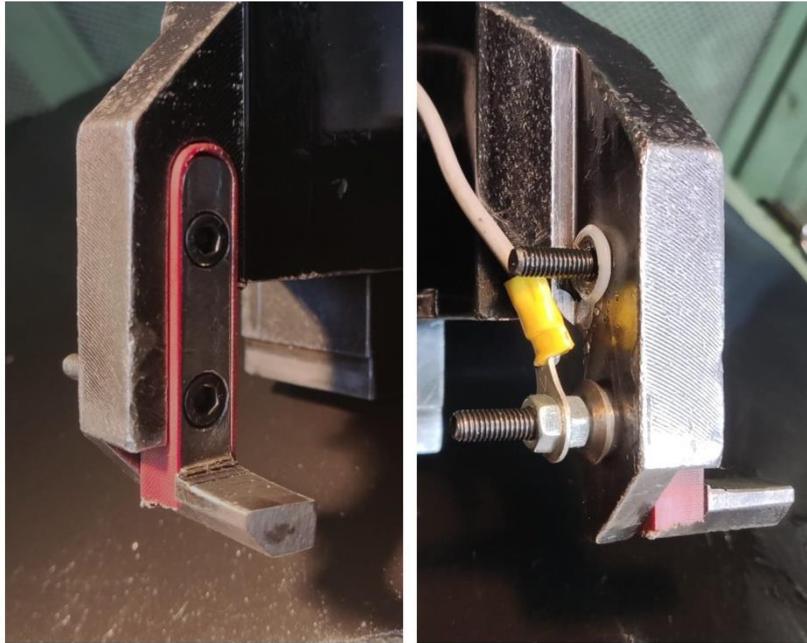


Figura 24: Fotografias da montagem dos componentes no batente

3.1.5. NECESSIDADE DE UM SENSOR AUXILIAR

Para que o sensor instalado no batente atinja os objetivos esperados é necessário que se saiba em que momento é suposto que o arame choque no batente para que, caso o arame não choque no batente no intervalo de tempo em que deveria ter chocado, a máquina pare.

Visto que, a máquina trabalha com velocidades diferentes de produção para produção, e que os comprimentos do arame também variam dependendo do parafuso que está a ser produzido, torna-se impossível utilizar variáveis como tempo na programação do PLC para sabermos quando deveria ou não ter ligado o sensor que deteta a presença de arame.

Assim sendo, foi estipulada a utilização de um segundo sensor que pudesse informar quando é que o sensor do batente deve ser acionado. Deste modo, se os dois sensores estiverem ligados em simultâneo significa que o arame bateu no batente nesse ciclo e que, portanto, essa peça está conforme. Caso o sensor de auxílio ligue e desligue sem que o sensor do batente seja acionado, significa que nesse ciclo, o arame não bateu no batente e que por isso, a máquina deve ser parada para que o operador corrija a falha na alimentação

do arame, verifique as últimas peças produzidas e caso seja necessário, sucate os parafusos não conformes.

Desta maneira, este segundo sensor precisa de estar instalado de forma que tenha o mesmo comportamento que o sensor do batente, independentemente das características de cada produção. Por exemplo, se a velocidade de produção é mais elevada, o arame vai bater mais vezes no batente. O sensor auxiliar tem que acompanhar este tipo de comportamento.

3.1.6. INSTALAÇÃO DO SENSOR AUXILIAR

O sistema de alimentação de arame da máquina é controlado por uma came que, ora ativa ora desativa a alimentação do arame de forma a prover a máquina com a quantidade de material necessária para o fabrico de uma peça. A ação dessa came é sempre a mesma, independentemente do tipo de peça a ser produzida. Cada volta completa desta came corresponde ao fabrico de uma peça, e há uma posição da came que corresponde sempre ao facto do arame estar a bater no batente. Esta came foi o local escolhido para a instalação do segundo sensor.

Em favor de não danificar a came e pelo facto de esta ser temperada e, portanto, difícil de maquinar, o obstáculo que será o acionador do sensor será instalado junto da anilha da came, cujo movimento é igual ao da própria came.

O obstáculo que ativa este sensor foi modelado no software *Autodesk Inventor* e posteriormente foi fabricado na serralharia da *ETMA Metal parts*. Tanto o modelo como o componente fabricado podem ser vistos na figura 25.



Figura 25: Obstáculo que ativa o sensor modelado e fabricado

Da forma que foi concebido, este componente manterá o sensor auxiliar ligado durante 75% do ciclo que corresponde ao fabrico de uma peça. Será dentro deste mesmo intervalo de tempo que o arame terá de chocar no batente para haja confirmação de que a alimentação do arame está a ocorrer conforme o pretendido.

Para posicionar o sensor da posição pretendida foi necessário idealizar um suporte para o mesmo. O suporte foi modelado de forma que pudesse ser fixado na máquina através de dois parafusos M8 e de forma que não comprometesse nem prejudicasse o natural funcionamento da máquina. Na figura 26 pode ser visto o suporte para o sensor modelado no software *Autodesk Inventor* e o componente posteriormente fabricado na serralharia da *ETMA Metal Parts*.

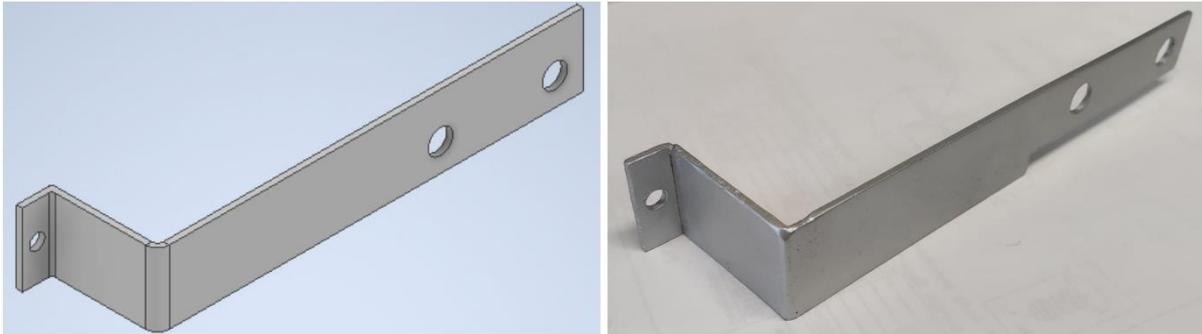


Figura 26: Suporte do sensor fabricado e modelado

Na figura 27 estão ilustradas as ideias descritas nos parágrafos anteriores. A vermelho está representado o local estável da máquina ao qual será aparafusado o suporte para instalar o sensor.

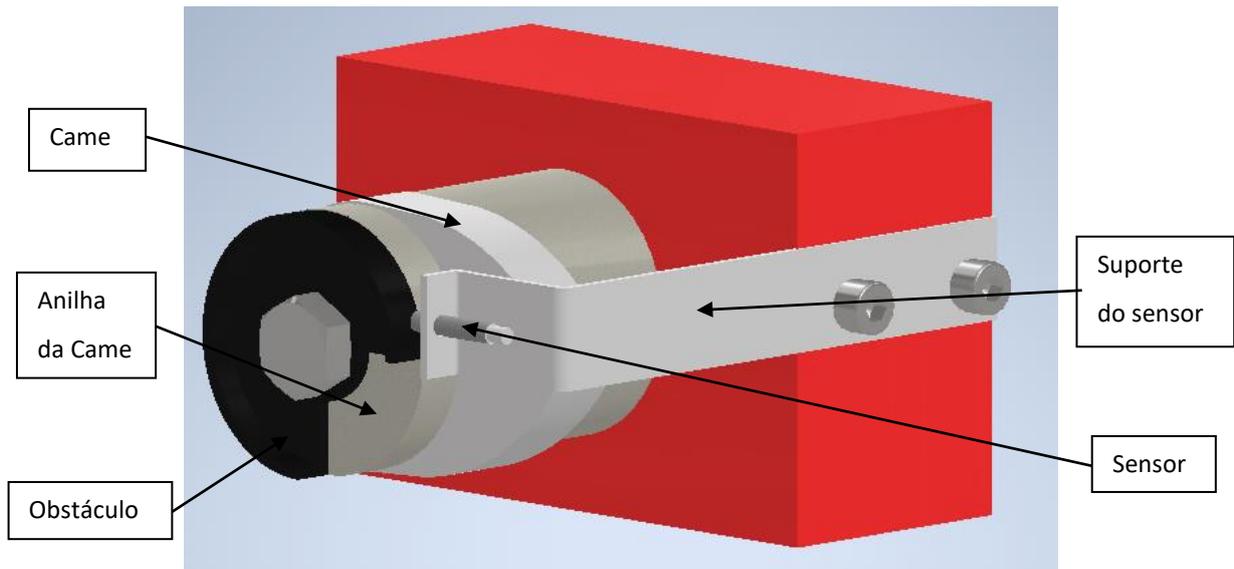


Figura 27: Representação da instalação do sensor de auxílio

Na figura 28 encontra-se o sensor de auxilio na came tal como foi projetado.

Este sensor está instalado de forma que comece a detetar no instante imediatamente antes do arame bater no batente e que fique ligado algum tempo de maneira que o sensor do batente ligue enquanto o sensor auxiliar também está ligado. Se ambos estiverem ligados em simultâneo durante o ciclo então a máquina foi alimentada corretamente.



Figura 28: Montagem do sensor de auxílio

3.1.7. ESCOLHA DO SENSOR AUXILIAR

Para a função de sensor auxiliar foi escolhido o sensor indutivo M5 IY5034 da *ifm electronic* que se pode ver da figura abaixo. De salientar que o sensor indutivo a seleccionar tinha que ser do tipo NPN, fruto de uma das entradas ser um sensor por massa.



Figura 29: Sensor indutivo M5 IY5034

Na tabela 3 estão apresentadas algumas das características técnicas do sensor escolhido.

Tabela 3: Especificações técnicas do sensor indutivo escolhido

Conceção elétrica	NPN
Funções de saída	Normalmente aberto
Alcance de deteção	0,8 mm
Dimensões	M5 x 0,5 / L = 30

3.1.8. ESCOLHA DO PLC

Tendo em consideração que os equipamentos onde serão instalados os sensores têm cadências de produção muitas vezes de 15 000 peças por hora, ou seja aproximadamente 4,2 peças por segundo, existe a necessidade de se escolher um PLC com uma elevada capacidade de processamento.

A elevada capacidade de processamento é fundamental para que, a resposta da máquina quando tiver de efetuar a paragem ocorra em tempo útil, de forma a que se evite

ao máximo que se produzam mais peças depois do sensor ser acionado e antes da máquina parar.

O controlador escolhido foi o PLC AS228P-A da Delta Electronics que se pode ver na figura 30 e cujas especificações relevantes estão apresentadas na tabela 4.



Figura 30: PLC AS228P-A da Delta Electronics

Tabela 4: Especificações técnicas do PLC escolhido

Tensão de entrada	24 V DC
Frequência das entradas e das saídas	200 kHz
Velocidade de execução	40 k steps / ms
Tipo de saídas	PNP

3.1.9. GRAFCET

De forma a esquematizar o comportamento do sistema a ser automatizado foi elaborado um diagrama *grafcet*.

O comportamento idealizado para o par de sensores foi o seguinte:

1. Foi decidido que existirá um seletor com três posições para definir quando é que se iniciará o programa. Se o seletor estiver no “OFF” o programa não corre. Se o seletor estiver no “OFF para afinação” (OFA), o programa só vai iniciar quando a máquina

iniciar a marcha automática (MA). Por fim existirá a posição “ON” na qual o programa estará sempre a correr. Ou seja, para se dar o “START” o seletor tem que estar na posição “ON” ou estar na posição “OFF para afinação” (OFA) e em marcha automática (MA).

2. Estando o “START” acionado e a peça não estando “NOK” nem “OK”, o sensor da came (SC) liga e inicia o ciclo (IC). Um ciclo corresponde ao fabrico de uma peça.
3. Se o sensor do batente (SB) ligar enquanto o ciclo ainda decorre, ou seja, enquanto o sensor da came ainda está ligado, então a peça está conforme (OK).
4. O ciclo continua até que o sensor da came desligue e volte à etapa inicial.
5. Caso, durante o ciclo, o sensor do batente não for ativado e o sensor da came se desligar significa que o arame não chegou ao batente, logo o seu comprimento ficou curto e a peça não estará conforme. (NOK).
6. Caso a peça fique “NOK”, a máquina para (STOP) e acende um “LED” de aviso vermelho. A peça fica “NOK” até que o operador pressione o botão “RESET” (RS) para limpar o erro e voltar à etapa inicial.

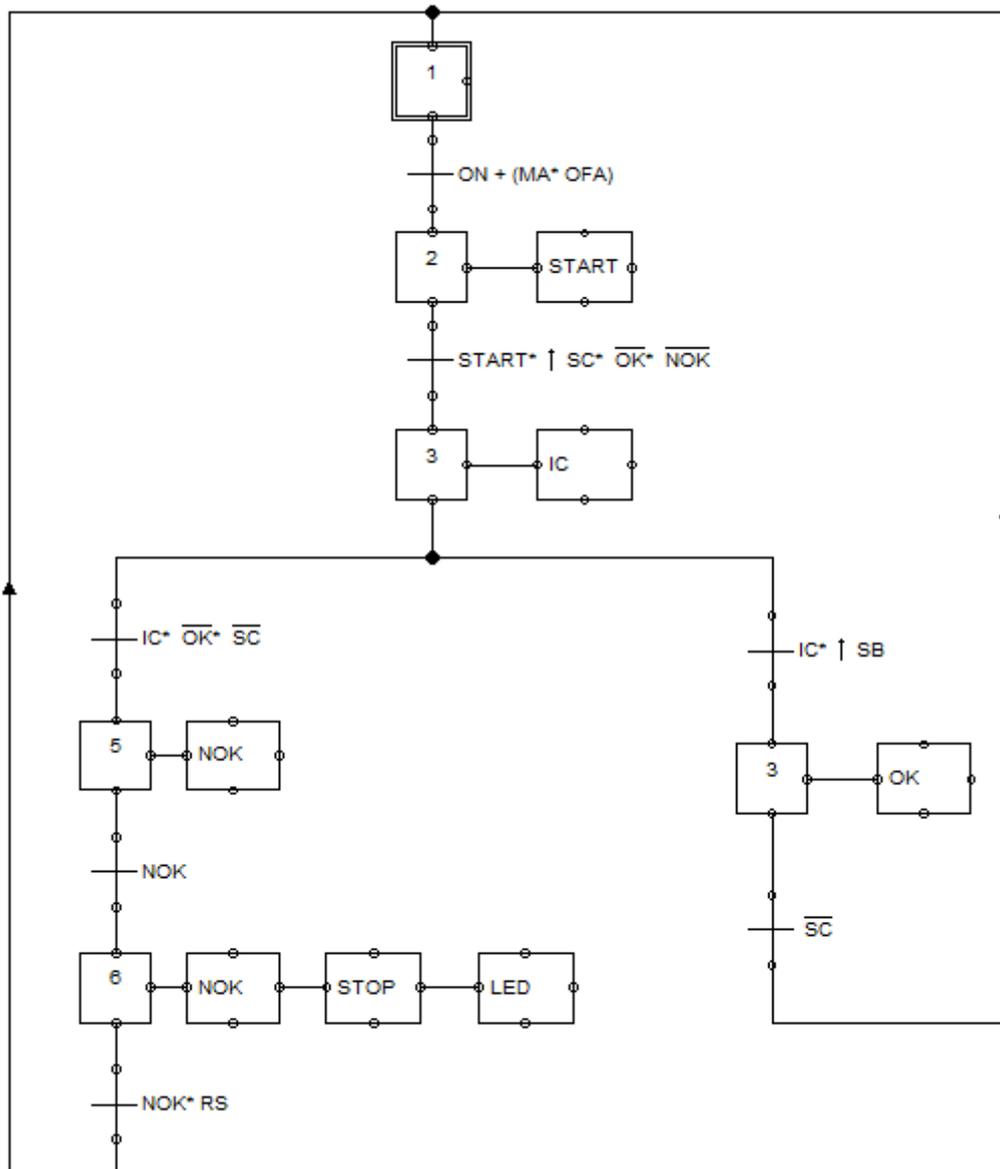


Figura 31: Grafcet do comportamento idealizado para os sensores

3.1.10. PROGRAMAÇÃO DO PLC

A programação do PLC foi realizada em linguagem *ladder* no software *ISPSOft* da *Delta Electronics*. De seguida serão apresentadas as linhas do programa e as respetivas descrições das funções desempenhadas por cada uma delas.

1ª Linha

Esta linha tem a função de iniciar o programa. Foi decido que existirá um seletor com 3 posições para definir quando é que se iniciará o programa.

Se o seletor estiver no “OFF” o programa não vai correr.

Se o seletor estiver no “OFF para afinação”, o programa só vai iniciar quando a máquina iniciar a marcha automática, ou seja, quando o operador estiver na fase de afinação da máquina e a trabalhar por impulsos, o programa não vai correr.

Por fim existirá a posição “ON” na qual o programa estará sempre a correr.

É espectável que a função mais utilizada seja a “OFF para afinação”. Quando o operador está a afinar a quantidade de arame é espectável que o arame não choque no batente algumas vezes e nestes casos é contraproducente estar a parar a máquina sempre que isso acontece.

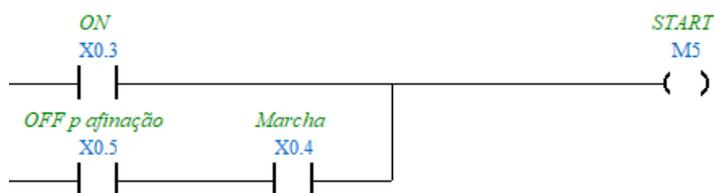
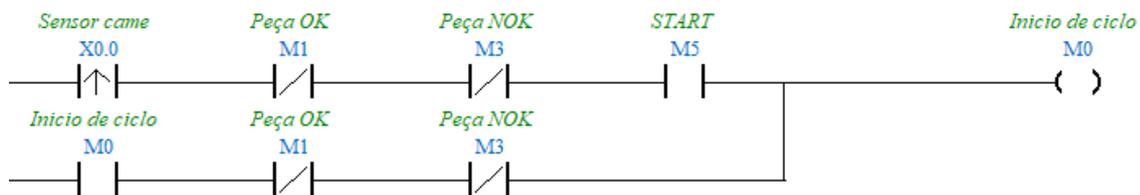


Figura 32: Primeira linha do programa

2ª linha

A segunda linha do programa contempla a condições para que o programa inicie o ciclo de verificação.

Caso o sensor da came se ligue, o “START” esteja ativo e a peça não esteja “OK” nem “NOK”, o ciclo inicia-se e fica ativo até que a peça esteja “OK” ou “NOK”.



3ª linha e 4ª linha

Na terceira linha, caso o ciclo esteja iniciado e o sensor do batente seja ativo então a peça está “OK”. A peça fica “OK” até que a sensor da came desligue, para depois iniciar um novo ciclo.

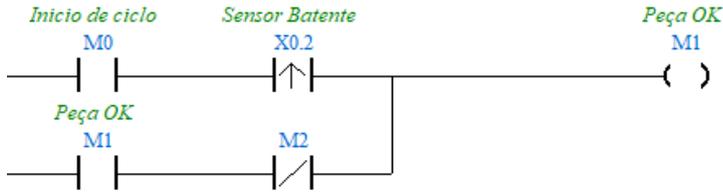


Figura 34: Terceira linha do programa



Figura 35: Quarta linha do PLC

5ª linha

Na quinta linha do programa, se a peça não estiver “OK” e se o sensor da came se desligar, então a peça está “NOK”. Enquanto não se limpar o erro com um “RESET” a peça continua “NOK”.

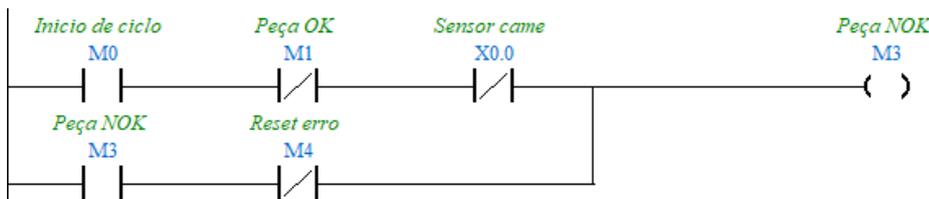


Figura 36: Quinta linha do programa

6ª linha

Na sexta linha do programa, quando a peça está “NOK”, se carregarmos no botão “RESET”, limpa o erro, a peça deixa de estar “NOK” e volta-se ao início do ciclo.



Figura 37: Sexta linha do programa

7ª linha

Na sétima linha do programa estão as saídas do PLC. Quando peça está “NOK” a máquina para e acende-se um “LED vermelho” para avisar o operador do erro.



Figura 38: Sétima linha do programa

3.1.11. ENTRADAS E SAÍDAS DO PLC

De seguida está apresentada uma tabela resumo onde está a descrição das entradas e das saídas do PLC e as suas respetivas moradas.

Tabela 5: Entradas e Saídas do PLC

Entradas	
Sensor indutivo auxiliar	X0.0
Botão de RESET	X0.1
Sensor Massa	X0.2
Botão ON	X0.3
Informação de que a máquina iniciou a marcha	X0.4
Botão OFF para afinação	X0.5
Saídas	
Parar máquina	Y0.0
LED vermelho	Y0.1

3.1.12. ESQUEMA ELÉTRICO

Na figura 39 que se segue estão ilustradas as ligações elétricas, ao PLC, dos componentes que integram o projeto do sensor no batente. De salientar que fruto da utilização do sensor por massa, houve a necessidade de se utilizarem entradas do PLC neutras. Por este motivo o comum das entradas foi ligado à carga positiva, daí a exigência de se escolher um sensor indutivo NPN para este projeto.

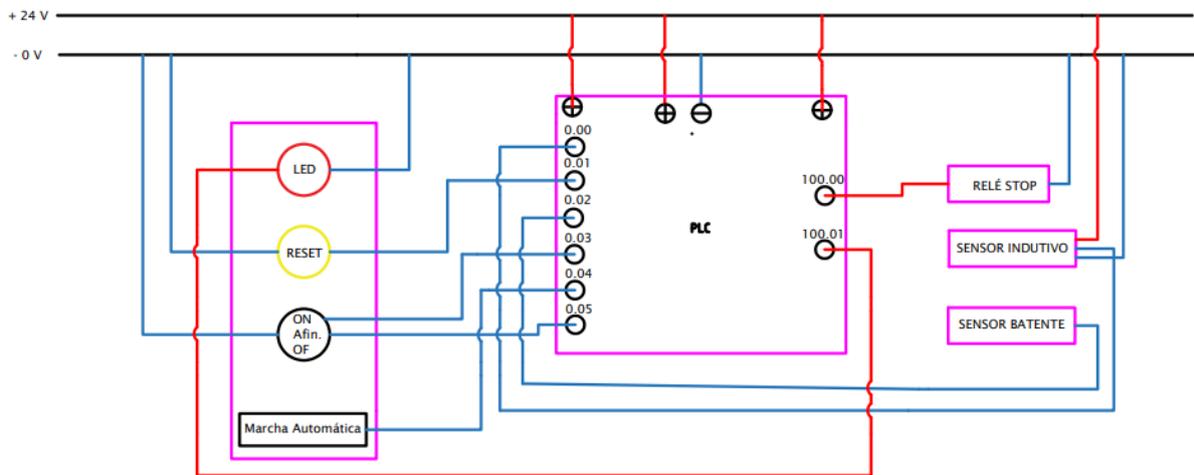


Figura 39: Esquema das ligações elétricas dos componentes do projeto do sensor ao PLC

3.2. IMPLEMENTAÇÃO DE CALHA PARA SEPARAR PEÇAS INACABADAS

Neste subcapítulo será apresentada a solução idealizada para separar as peças inacabadas que caem durante a passagem de estação nas máquinas de forjamento multiestações.

3.2.1. ENQUADRAMENTO

Como se pôde verificar no capítulo 3 sobre os defeitos e as reclamações dos clientes, a queda de peças durante o transporte entre postos foi uma das causas que mais reclamações gerou.

Nas máquinas multiestações, as peças são transportadas de estação em estação por pinças, que agarram na peça e a largam na estação seguinte. Ocasionalmente, há peças que caem das pinças durante o transporte, não chegando assim à última etapa e ficando desse modo inacabadas. Estas peças inacabadas caem no mesmo tapete das peças boas, e no meio de milhares de peças boas são extremamente difíceis de detetar. Na figura 40 encontram-se dois exemplos onde estão rodeadas a vermelho peças que caíram durante o transporte e, portanto, ficaram inacabadas.

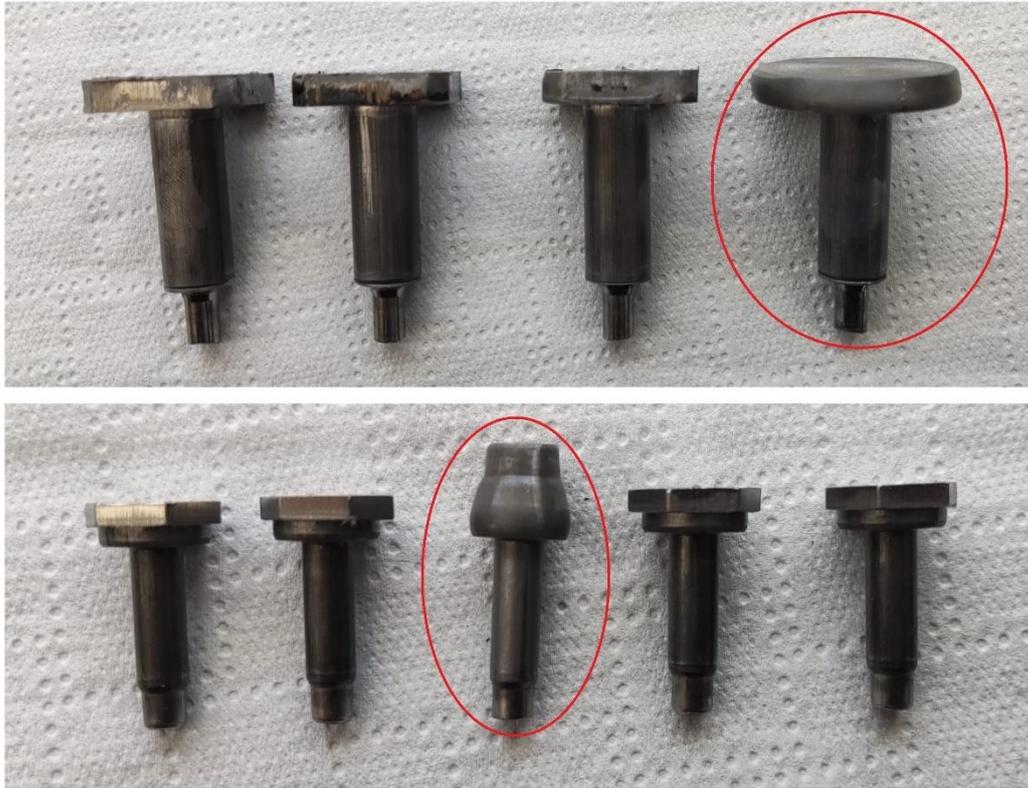


Figura 40: Exemplos de peças que caíram durante o transporte

3.2.2. CONCEÇÃO DO SEPARADOR E DA CALHA

Para resolver este problema foi idealizado um separador onde vai ser fixada uma calha de forma a guiar para o tapete apenas as peças que passaram por todas as etapas. As peças inacabadas vão ser guiadas juntamente com a sucata para um parafuso de Arquimedes já existente responsável por tirar a sucata da máquina.

Foi então modelado um separador, que pode ser visto na figura 41 a), que será fixado à máquina com parafusos. O separador possui um rasgo lateral por onde entrarão as peças que vêm da última matriz e um rasgo no topo.

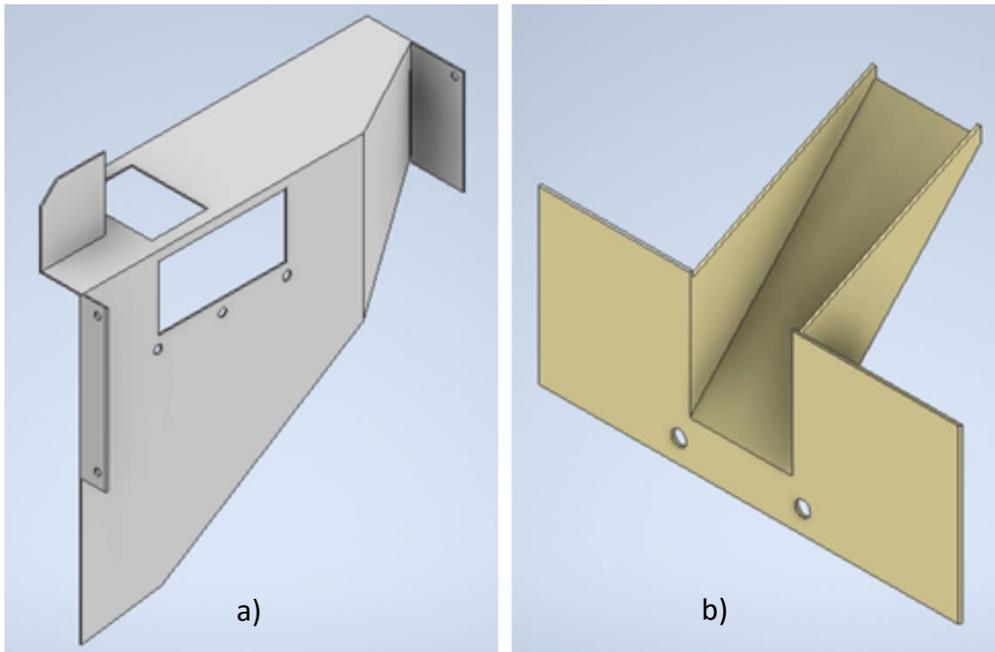


Figura 41: Separador e calha modelados

Algumas peças que sofrem remoção de apara (quando acontece é sempre na última etapa) caem por trás do bloco de punções, daí a necessidade de existir um rasgo também no topo. A peça finalizada cai para o lado das peças boas, precisamente pelo rasgo do topo, e a apara cai para o lado da sucata.

Apesar das máquinas onde este separador vai ser aplicado serem de cinco e quatro golpes, há peças que para serem produzidas necessitam apenas de três ou quatro etapas. Por esse motivo, a posição da calha, tem de ser regulável. Poderá ser aparafusada de forma a apanhar as peças que saem na quarta ou na quinta matriz no caso da máquina de cinco golpes, e na terceira ou quarta matriz no caso da máquina de quatro golpes, dependendo da necessidade. A calha em questão está representada na figura 41 b).

A montagem da calha no separador está representada na figura 42.

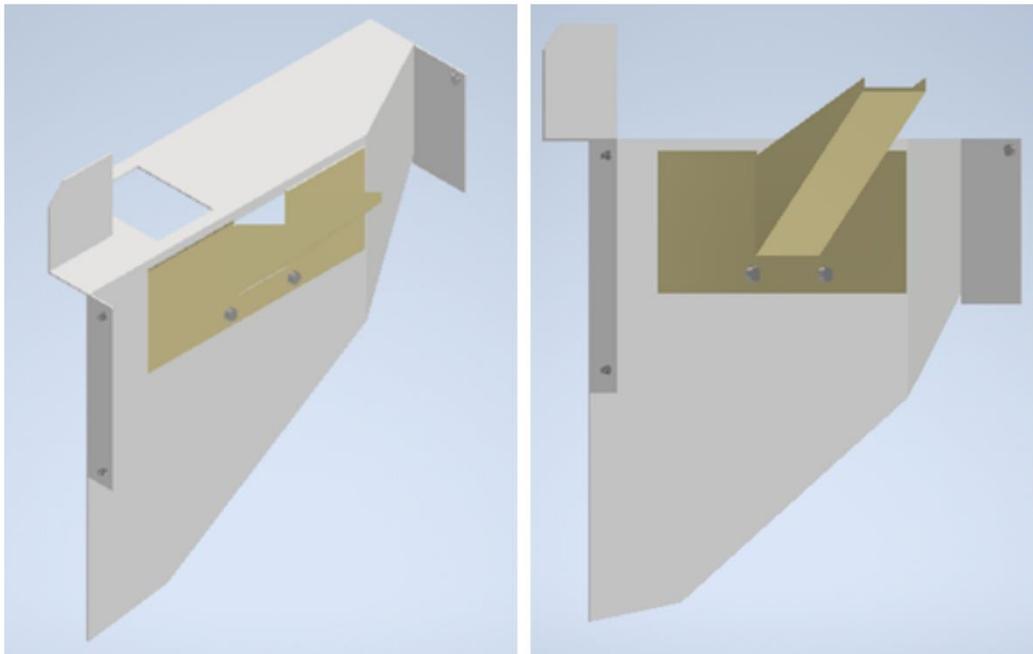


Figura 42: Ilustração da montagem da calha no separador

Na figura 43 está representada uma ilustração explicativa do modo de funcionamento do separador e da calha. A peça da última matriz vai pela calha para o lado esquerdo do separador. O seu trajeto está representado com pintas verdes. As peças que caírem antes de chegarem à última etapa caem do lado direito do separador, representadas a vermelho na ilustração.

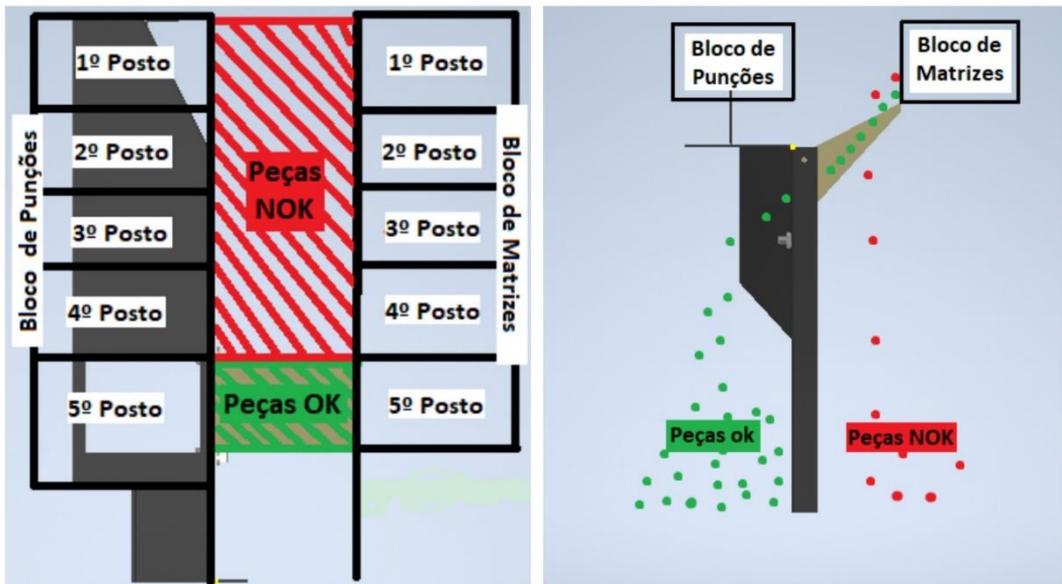


Figura 43: Ilustração explicativa do modo de funcionamento do separador e da calha

Na figura 44 pode-se ver uma fotografia com a sinalização a vermelho do local onde as peças inacabadas (NOK) caem e a verde o local (calha) onde as peças que estão conformes (OK) caem.

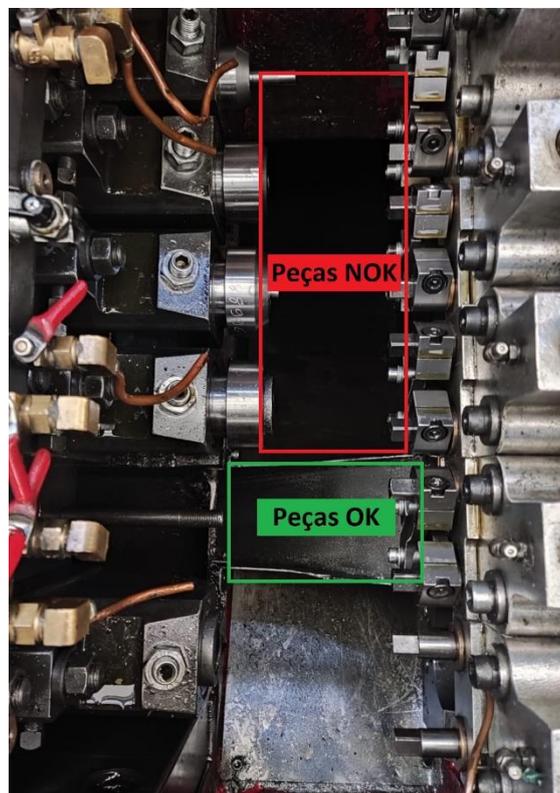


Figura 44: Fotografia com a sinalização a vermelho do local onde as peças (NOK) caem e a verde o local onde as peças OK caem.

3.3. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados dois projetos de melhoria com o principal intuito de aumentar a qualidade e a fiabilidade dos produtos fabricados no setor do forjamento a frio.

O projeto de implementação de um sensor no batente permitiu alcançar uma solução para a má alimentação dos equipamentos, garantindo a paragem da máquina assim que a quantidade de arame alimentada for inferior ao pretendido para a peça em produção.

O projeto de implementação de uma calha que permita fazer a separação das peças inacabadas, tal como o nome indica, permite que se faça uma separação eficaz das peças que não passaram por todas as etapas de deformação devido a quedas durante o transporte entre estações.

Estes projetos deixam demonstrado que soluções simplistas e com investimentos reduzidos (principalmente o da separação das peças) podem ter impactos relevantes.

Com pequenos ajustes (ou até mesmo sem nenhuns em alguns casos), será possível aplicar estas melhorias a outros equipamentos do setor e desta forma resolver dois dos problemas que mais reclamações dos clientes causam (40% das reclamações do ano 2021).

4. REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP*

Com o intuito auxiliar e guiar no estudo e posterior elaboração de um plano para a redução do tempo de *setup* das máquinas de forjamento a frio vai ser utilizada a metodologia SMED. O propósito desta metodologia passa por reduzir o tempo de troca de ferramenta de uma máquina para valores na ordem de um dígito, (*Single Minute Exchange Die*), ou seja, para valores de tempo inferiores a 10 min. Estando ciente de que este é um objetivo demasiado ambicioso ou até mesmo inalcançável, vai-se tirar proveito dos procedimentos utilizados nesta metodologia para reduzir ao máximo os tempos de *setup*.

4.1. ESTÁGIO PRELIMINAR

O primeiro passo da aplicação da metodologia SMED consiste em observar e analisar todos os procedimentos atualmente realizados durante o processo de mudança de ferramenta. Após o acompanhamento de alguns processos de *setup*, todas as atividades foram registadas e o tempo que cada uma delas demora foi anotado.

Os dados dos procedimentos de troca de ferramentas foram recolhidos de *setups* realizados no equipamento *Multi Press MP 410*, de quatro golpes, e posteriormente foi feita a média dos tempos recolhidos. De salientar que os *setups* realizados dizem respeito a *setups* com um grau de dificuldade e de tempo de *setup* intermédios.

Para além de todas as operações realizadas durante o *setup* e do tempo que cada uma delas demora, é importante neste estágio recolher o máximo de informações possível sobre os processos atuais. É importante perceber quais são os principais problemas, as ineficiências e os desperdícios que ocorrem durante o *setup*. Neste caso de estudo são notórios os seguintes:

- A inexistência de planeamento e normalização das atividades;
- Desorganização dos movimentos;
- Falta de manutenção planeada das ferramentas;
- Todas as atividades são realizadas com a máquina parada, incluindo tarefas que poderiam ser realizadas antes ou depois de paralisar a máquina para a troca de ferramentas;
- Demasiado tempo perdido em ajustes por tentativa-erro;

Na tabela 6 estão apresentadas as atividades de *setup* e os seus respetivos tempos. De salientar que apesar das atividades estarem classificadas de internas e externas, essa classificação diz respeito à possibilidade de serem ou não efetuadas com a máquina parada e não ao que acontece na realidade neste estágio. Como foi mencionado anteriormente, nesta fase todas as operações exibidas na tabela são efetuadas com a máquina parada.

Tabela 6: Operações de *setup* realizadas e os seus respetivos tempos de execução antes da aplicação da metodologia *SMED*

Operação nº	Descrição da Operação	Tempo médio (min)	Tipo de atividade
1	Desmontagem e Lavagem	78,5	
1.1	Guardar o cadastro da ferramenta e o plano de inspeção	1	Externa
1.2	Levar peças da referência que terminou a produção para próxima operação	2,5	Externa
1.3	Ir buscar líquido de limpeza	1	Externa
1.4	Fazer limpeza geral da máquina com pistola de ar comprimido	6,5	Interna
1.5	Retirar pinças	7	Interna
1.6	Recuar e retirar batente	1,5	Interna
1.7	Retirar punções	3	Interna
1.8	Desmontar e lavar os punções da referência terminou produção	13	Externa
1.9	Retirar bússola e cutelo	6	Interna
1.10	Retirar matrizes	3	Interna
1.11	Desmontar e lavar as matrizes da referência que terminou produção	14,5	Externa
1.12	Tirar rodas de alimentação da referência que terminou produção	3,5	Interna
1.13	Fazer limpeza geral da máquina e do tapete com pistola de ar comprimido e líquido de limpeza	6	Interna
1.14	Guardar rodas de alimentação da referência que terminou produção	1,5	Externa
1.15	Retirar arame do desenrolador	5	Interna
1.16	Guardar a caixa de ferramentas	3.5	Externa
2	Montagem	218,5	
2.1	Colocar arame no desenrolador	5	Interna

2.2	Recolher as rodas de alimentação da referência que vai iniciar produção	1,5	Externa
2.3	Colocar as rodas de alimentação do arame	5	Interna
2.4	Recolher caixa com ferramentas da referência que vai iniciar produção	4,5	Externa
2.5	Procurar amostras das etapas das produções anteriores na caixa de ferramentas	1,5	Externa
2.6	Recolher e colocar plano de inspeção junta à máquina da referência que vai iniciar produção	3	Externa
2.7	Recolher caderno com as medidas dos extratores das matrizes	2	Externa
2.8	Ajustar extratores das matrizes	5,5	Interna
2.9	Montar as matrizes	8,5	Interna
2.10	Montar o cutelo com auxílio de uma prensa	1,5	Externa
2.11	Montar a bússola e o cutelo na máquina	5,5	Interna
2.12	Afinar o cutelo com a bússola para passar o arame	10	Interna
2.13	Introduzir o arame e afinar as rodas do sistema de alimentação	14	Interna
2.14	Ajustar comprimento do arame (quantidade de material)	8	Interna
2.15	Colocar punção primeira operação	13,5	Interna
2.16	Colocar punção segunda operação	12,5	Interna
2.17	Colocar punção terceira operação	12	Interna
2.18	Colocar punção acabador quarta operação	8,5	Interna
2.19	Afinação geral dos quatro postos	9	Interna
2.20	Colocar e afinar os pares pinças posto a posto e fazer reajustes necessários	85,5	Interna
2.21	Colocar ar comprimido e lubrificação	2	Interna
Total		297	

O tempo total de montagem e desmontagem (obtido através da média de tempos de referências semelhantes) é de 297 minutos (4h e 57 min aproximadamente). Esta escala de tempo é um grande entrave à produtividade e eficiência de uma atividade industrial, tendo em conta que atualmente existe uma grande competitividade no mercado, uma maior exigência dos clientes, e uma necessidade cada vez maior, tanto dos clientes como das indústrias de terem o mínimo de stocks possível e por isso necessitarem da maior flexibilidade disponível. Estas imposições levam à solicitação, por parte dos clientes, de

encomendas cada vez mais pequenas e com *lead times* cada vez menores que exigem um número mais elevado de setups.

Após estudar os métodos atualmente utilizados o próximo passo é separar as atividades internas e externas

4.2. ESTÁGIO 1 – SEPARAÇÃO DAS ATIVIDADES INTERNAS E EXTERNAS

Como se verificou no estágio preliminar todas as tarefas de *setup* eram realizadas com a máquina parada, não havendo nenhuma organização com vista a reduzir ao máximo o tempo de paragem dos equipamentos. Neste estágio 1 as atividades, depois de classificadas como internas ou externas, foram reorganizadas de maneira que todas as atividades externas fossem realizadas fora do tempo de setup sendo distribuídas por dois novos momentos, um de pré-setup e um de pós-setup. Na figura 45 é apresentado um esquema onde se podem verificar as atividades reorganizadas.

As atividades externas que consistem essencialmente em atividades de preparação de *setup* como a recolha de utensílios, ferramentas e materiais informativos foram alocadas no pré-setup. As atividades externas que consistiam arrumar e lavar utensílios e ferramentas e guardar os materiais informativos da produção que terminou foram colocadas na fase de pós-setup.

Após a reorganização das atividades, colocando fora do tempo de setup as atividades que não necessitam que a máquina esteja parada para serem efetuadas foi possível reduzir o tempo de setup em 51 minutos de 297 minutos para 246 minutos, consumando uma redução de 17,2%. Dos 51 minutos de tempo reduzido, 15 minutos foram alocados no tempo de preparação do *setup* (pré-setup) e 36 minutos foram deslocados para depois do *setup*.

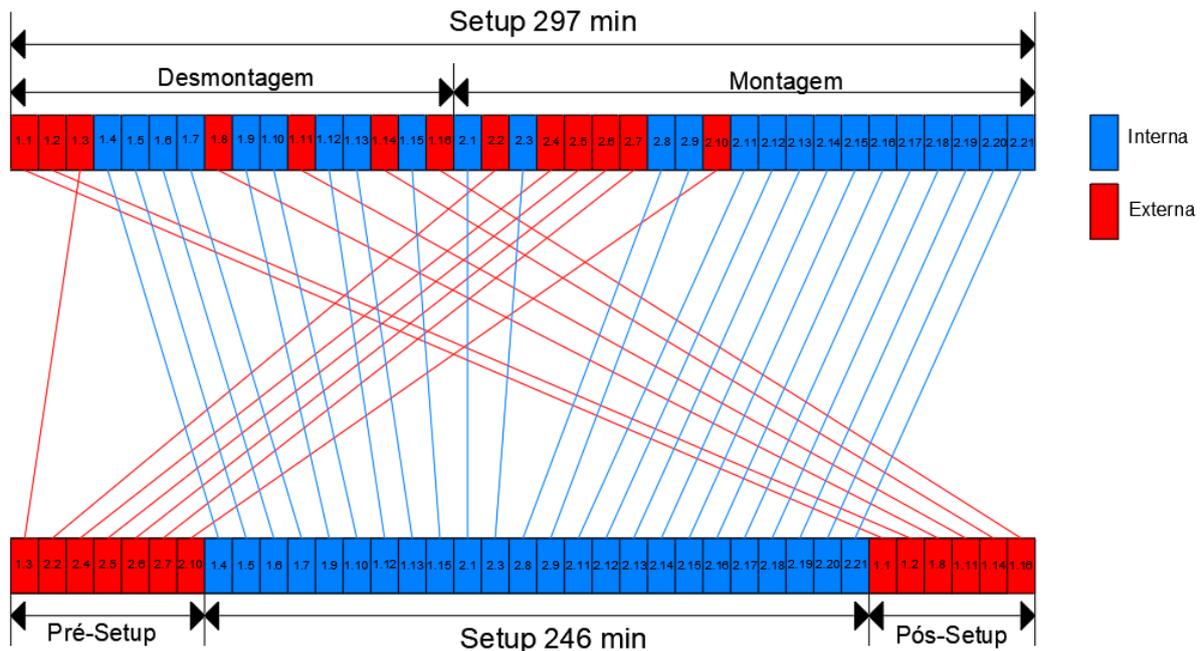


Figura 45: Esquema representativo da reorganização das atividades externas

4.3. ESTÁGIO 2 – CONVERSÃO DAS ATIVIDADES INTERNAS EM EXTERNAS

Neste estágio o objetivo seria converter o máximo possível de atividades internas em atividades externas, para que posteriormente pudessem ser organizadas fora do tempo de *setup*, passando a ser efetuadas antes ou depois do mesmo.

Contudo, para além das atividades que, no primeiro estágio, já foram programadas para serem desempenhadas fora do *setup*, concluiu-se que mais nenhuma atividade interna poderia ser convertida em externa.

A tecnologia da máquina e o seu próprio *design*, pouco focado na troca rápida de ferramentas e não oferecendo a versatilidade necessária para se efetuarem grandes alterações do equipamento, impedem que se evolua mais neste aspeto.

Exemplificando, as operações de montagem 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, que dizem respeito ao *setup* dos punções poderiam ser feitas (pelo menos de forma parcial) externamente, caso houvesse a possibilidade de se fazer uma duplicação do bloco que suporta os punções, tecnologia que já está presente em alguns dos equipamentos mais recentes. Assim seria possível fazer a montagem dos punções no bloco fora do equipamento e posteriormente apenas seria necessário fazer a troca blocos de punções durante o *setup*.

4.4. ESTÁGIO 3 – OTIMIZAÇÃO SISTEMÁTICA DE TODOS OS ASPETOS DAS OPERAÇÕES DE SETUP (EXTERNAS E INTERNAS)

No terceiro e último estágio o propósito será otimizar todas as atividades do setup tanto internas como externas. Isto significa que todas devem ser transformadas em atividades que se realizem de uma forma rápida, simples e segura. Se houver atividades redundantes devem ser eliminadas.

Existem três categorias de melhorias que podem ser realizadas com vista a otimizar todas as operações do setup. Uma das possibilidades é efetuar melhorias do tipo mecânico, onde se incluem mudanças físicas nos processos e alterações no equipamento. As alterações nos equipamentos são as melhorias que envolvem investimentos mais avultados, mas por outro lado são as que dão um caráter mais definitivo às mudanças que, com o acompanhamento apropriado, se tornam perduráveis e sustentáveis. Outro cenário onde se podem efetuar melhorias é no aspeto organizacional que diz respeito ao modo como os recursos estão organizados e à forma como têm de ser usados durante o *setup*. Para além destas, também podem ser aplicadas melhorias ao nível processual tal como já foi feito no estágio 1 onde os procedimentos foram reorganizados ou por exemplo com a implementação de atividades paralelas ou com a preparação de uma sequência de referências mais eficaz.

4.4.1. ATIVIDADES PARALELAS

O propósito da implementação de atividades paralelas é programar a fase de setup do equipamento de forma a desenvolver um método padronizado para realizar o *setup* com dois operadores, organizando estrategicamente as atividades entre eles.

Após nova análise das operações de *setup* foi possível concluir que algumas atividades podem ser realizadas em paralelo.

As atividades 1.12, 1.15, 2.1, 2.3, que baseiam-se em retirar as rodas de alimentação de arame e o arame do desenrolador da referência que está a ser desmontada, e colocar as rodas de alimentação de arame e o arame no desenrolador da referência que entrará em produção de seguida, e a atividade 2.13 que consiste em introduzir o arame e afinar as rodas do sistema de alimentação que endireitam o arame e garantem que ele corre, podem ser efetuadas paralelamente com as atividades que vão da 1.5 à 2.14 que se baseiam na

desmontagem das ferramentas da produção que terminou e na limpeza do equipamento e que portanto, não causam qualquer constrangimento ou interferência com as atividades que serão realizadas em paralelo.

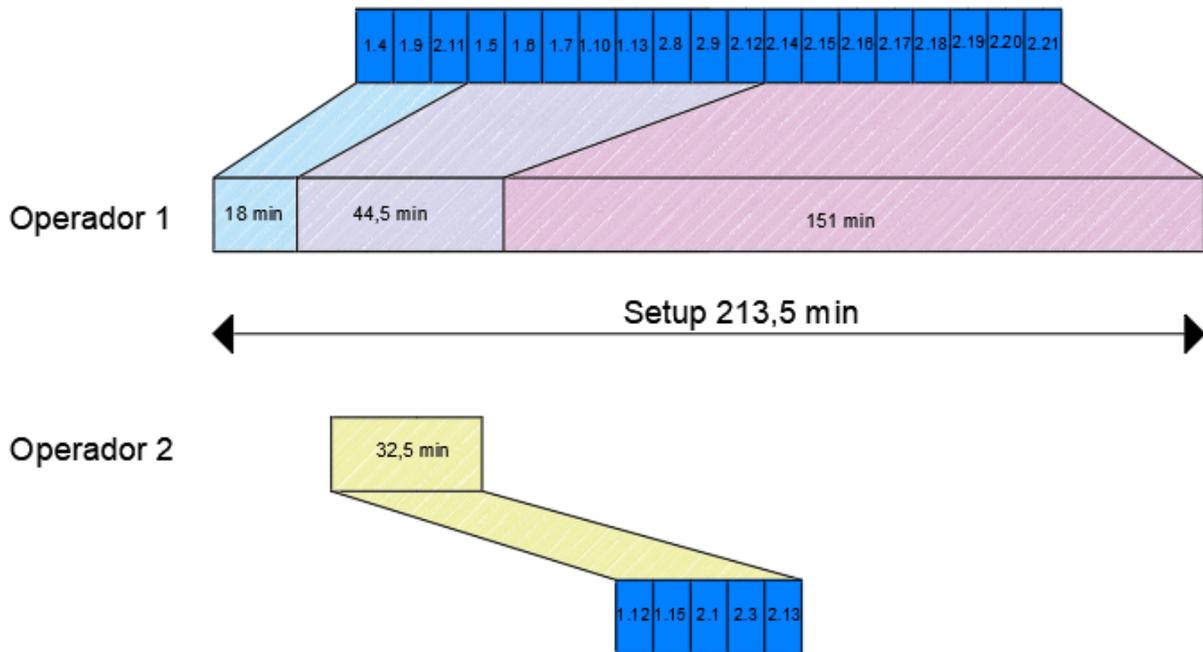


Figura 46: Esquema representativo da organização das atividades paralelas

A figura 46 ilustra o replaneamento do setup com as atividades paralelas que serão efetuadas pelo novo operador, denominado operador 2, e os respectivos tempos de execução.

É imperioso que a atividade 2.13 (introduzir o arame e afinar as rodas do sistema de alimentação para o arame correr), que vai ser realizada paralelamente, seja executada antes da atividade 2.14 (ajustar o comprimento do arame) e depois da atividade 2.11 (montar a bússola e o cutelo na máquina). De modo que o operário 2 tenha a possibilidade de efetuar todas as atividades que lhe estão designadas ininterruptamente, a atividade 2.11 foi realocada de maneira que fosse realizada o mais cedo possível, de forma a aumentar o tempo que decorre entre o fim de execução da atividade 2.11 e o início da atividade 2.14. Segundo as médias dos tempos recolhidos, a previsão é que as atividades feitas paralelamente pelo operário 2 tenham uma duração de 32,5 minutos. Depois da antecipação da atividade 2.11, o operário 2 tem agora um intervalo de 44,5 minutos para efetuar as suas atividades.

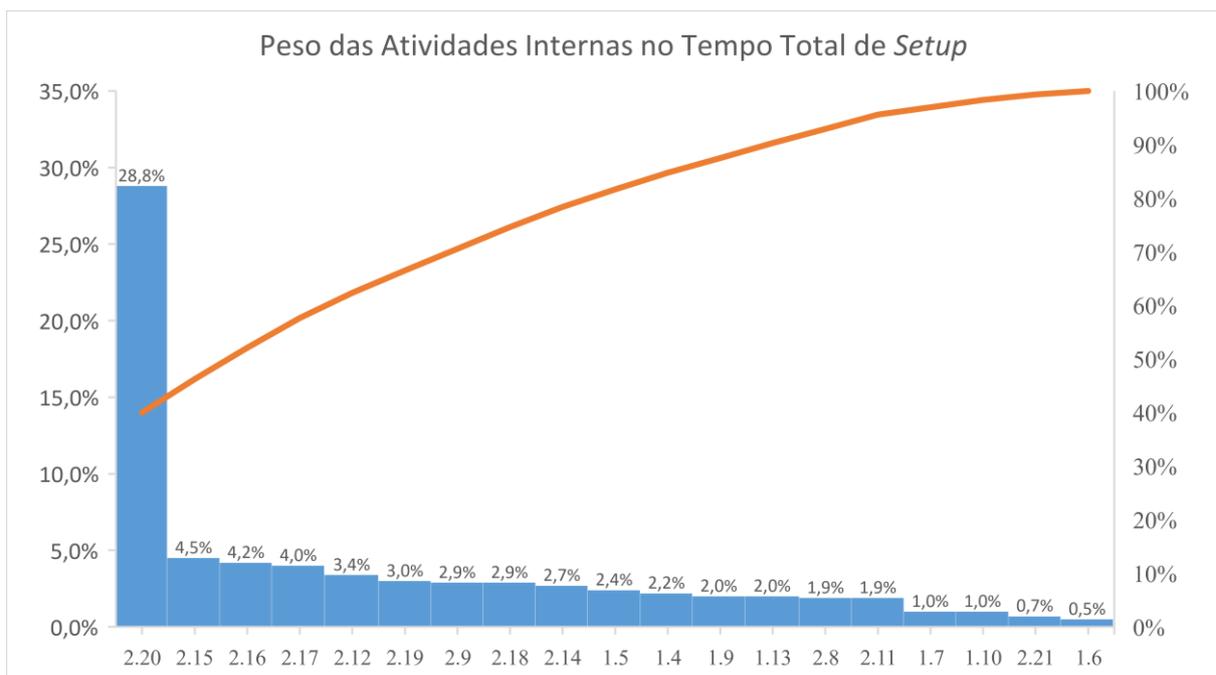
Fruto da mudança de timing da atividade 2.11, a atividade 1.09 (retirar a bússola e o cutelo) teve também que ser realocada já que é impreterível que seja realizada antes da atividade 2.11.

Com a implementação das atividades paralelas foi possível reduzir o tempo de setup dos 246 minutos para os 213,5 minutos, uma redução de 32,5 minutos (13,21%) face ao tempo que já tinha sido diminuído no estágio 1.

4.4.2. REDUÇÃO E SIMPLIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES INTERNAS

A fim de se desenvolverem soluções para a redução dos tempos de execução das atividades internas foi feita uma análise das mesmas de forma a selecionarem-se aquelas que têm mais interferência nos longos tempos de setup e aquelas onde será mais viável intervir.

De forma a representar o intacto de cada atividade interna no tempo total de setup foi elaborado um gráfico.



Analisando o gráfico é possível concluir facilmente que a atividade com maior peso no tempo de *setup* é a 2.20 (colocação e afinação dos pares de pinças posto a posto). Isto deve-se ao facto desta atividade ter um nível maior de generalidade e de estar pouca pormenorizada e detalhada quando comparada com as outras. Esta operação envolve muitas atividades menores que são difíceis de isolar por estarem todas altamente

relacionadas e dependentes e que envolvem a afinação de vários parâmetros em simultâneo.

Seguindo-se a esta, as operações 2.9, 2.12, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 e 2.19 são as mais demoradas. Das operações mencionadas, a 2.9 (montar as matrizes) e a 2.12 (afinar o cutelo e a bússola) foram consideradas como não prioritárias na implementação de melhorias, principalmente porque dificilmente se consegue reduzir o tempo atualmente gasto nestas atividades.

Todas estes procedimentos, de uma maneira ou de outra, estão fortemente relacionados com métodos de tentativa-erro, que se traduzem em atividades sem padrão e bastante desorganizadas. O principal foco para reduzir o tempo gasto nestas atividades será reduzir ao máximo a necessidade do uso de métodos de empíricos.

4.4.2.1. ELABORAÇÃO DE PLANO DE MONTAGEM

Com vista a poupar tempo nas afinações baseadas nos métodos tentativa-erro e a fornecer meios para que os operadores não tenham que se basear nesses métodos, foi decidido que se elaboraria um plano de montagem com todas as medidas das afinações que fosse possível normalizar e com as cotas e desenhos das peças de todos os postos.

Sendo assim o plano de montagem deverá conter as seguintes informações:

- Desenho de todas as etapas da peça;
- Medidas das afinações dos extratores das matrizes;
- Medidas dos parafusos que ajustam o comprimento dos punções;
- Medidas dos calços a usar em cada etapa;

Na figura 47 encontram-se fotografias das medidas mencionadas acima.



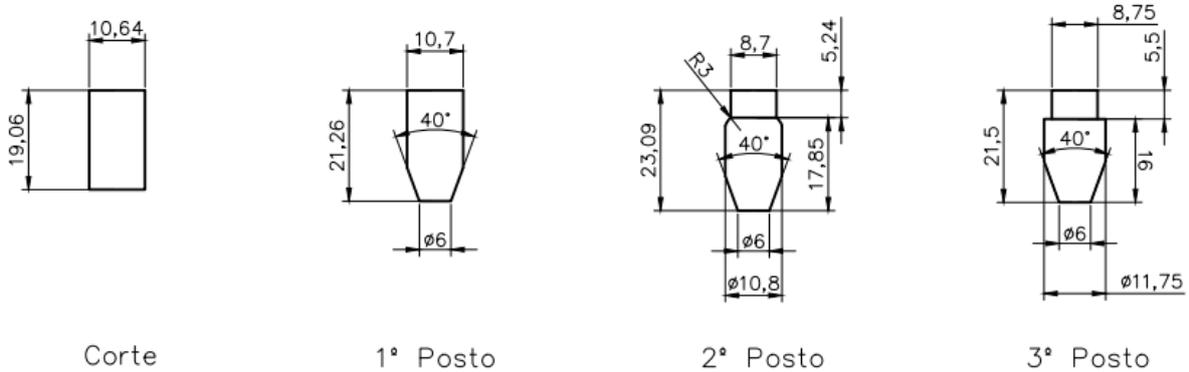
Figura 47: a) Medidas das afinações dos extratores; b) Medidas dos parafusos que ajustam o comprimento dos punções; c) Medida dos calços

Na fotografia mais à esquerda estão assinaladas as medidas das afinações dos extratores das matrizes. Na fotografia ao centro estão representadas por setas as medidas dos parafusos que ajustam o comprimento dos punções, estando os punções, ainda nessa fotografia, circundados. Na fotografia mais à direita está representado um calço e onde a medida do calço é tirada.

O objetivo será anotar as medidas mencionadas anteriormente cada vez que uma nova referência for afinada e a partir daí colocá-las no plano de montagem e usá-las cada vez que essa referência volte a ser produzida.

Na figura 48 está apresentado um exemplo de um plano de montagem com as informações propostas anteriormente.

Plano de montagem 7745G



Afinação		
Extratores Matrizes	Parafuso Comprimento Punções	Calços Punções
<p>1º Posto: 89.79 mm 2º Posto: 72.67 mm 3º Posto: 73.53 mm</p>	<p>1º Posto: 35.20 mm 2º Posto: 29.55 mm 3º Posto: 47.80 mm</p>	<p>1º Posto: 59.31 mm 2º Posto: 61.34 mm 3º Posto: 60.62 mm</p>

Figure 48: Exemplo de plano de montagem

De seguida será efetuada uma análise mais detalhada das atividades que serão intervencionadas de forma a perceber que oportunidades existem de as simplificar e de reduzir os seus tempos de execução.

Ajustar o comprimento do arame (2.14)

A quantidade de material que cada peça necessita é definida pelo comprimento de arame que será cortado pelo equipamento. O corte do arame é a primeira operação efetuada pela máquina. Para ajustar a quantidade de material o operador mede a amostra da quantidade de material das produções anteriores e vai ajustando o batente e o curso do arame até chegar ao valor pretendido.

Com a existência de um plano de montagem de fácil acesso junto ao local de trabalho do operador, este já não precisa de consultar e medir amostras da quantidade de arame

usado nas produções anteriores, basta olhar para essa informação que está disponível no plano de montagem.

Tabela 7: Tempo poupado na atividade 2.14 (ajustar o comprimento do arame)

Tempo sem plano de montagem	Tempo com plano de montagem	Tempo poupado
8 min	7 min	1 min

Ajustar extratores das matrizes (2.8)

No caso desta atividade a poupança de tempo não vai ser direta na atividade interna de ajustar os extratores das matrizes. Visto que os operários já possuem um caderno onde vão anotando essa medida das últimas produções, com a incorporação dessas medidas no plano de montagem permitirá que se poupe tempo nas atividades de ir buscar o caderno, procurar a referência no caderno e guardar o caderno. Visto que estas atividades já foram transformadas em externas, a poupança de tempo resultante desta medida será contabilizada no tópico sobre redução e simplificação das atividades externas.

Montagem dos punções (2.15, 2.16, 2.17, 2.18)

A montagem dos punções está baseada em métodos de tentativa-erro. Para montar e afinar os punções o operador necessita de colocar um calço antes do punção, montar o punção no equipamento e depois afinar a posição do punção.

O punção pode ser afinado verticalmente e horizontalmente através do ajuste de parafusos, de forma a ficar centrado com o furo matriz que está do lado oposto. Pode também ser afinado longitudinalmente de maneira a ficar mais ou menos próximo da matriz, consoante a deformação pretendida. Quanto mais próximo estiver, mais vai empurrar o material contra ou para dentro da matriz. A afinação longitudinal é conseguida tanto através do tamanho do calço introduzido como pela afinação de um parafuso. É recorrente que não se coloque o calço certo à primeira tentativa o que resulta em perdas relevantes de tempo. Quando acontece, o operador tem que retirar o punção, retirar o calço que estava errado, colocar outro calço e voltar a montar o punção, isto sem ter a certeza de que o novo calço introduzido será o adequado.

Os operadores têm acesso a amostras de todos os postos das produções anteriores e, a

partir dessas tentam replicar as deformações desejadas em cada posto.

Com a existência de um plano de montagem de fácil acesso na área de trabalho do operador, com a informação de qual calço usar e da posição do parafuso que regula distância do punção à matriz, poupa-se muito tempo com a redução das operações por tentativa-erro, que incluem: introduzir o calço, regular o parafuso, testar e comparar com a amostra de produções anteriores, e repetir este procedimento até chegar ao resultado pretendido. Para além disso, o operador já não precisa de verificar e medir as cotas das amostras das produções anteriores para verificar se o resultado é o pretendido, basta olhar para o plano de montagem.

Com isto, foi possível reduzir o tempo total da montagem dos quatro punções de 46,5 minutos para os 24 minutos.

Tabela 8: Tempo poupado nas atividades 2.15, 2.16, 2.17, 2.18 (montagem dos punções)

Tempo sem plano de montagem	Tempo com plano de montagem	Tempo poupado
46,5 min	24 min	22,5 min

Afinação geral da peça (2.19)

Nesta atividade, depois de já ter montado os punções e as matrizes, o operador faz um teste geral a todas as etapas antes de partir para a colocação do sistema de transporte das peças. O operador testa cada posto, transportando a peça de posto em posto manualmente e faz pequenas correções nas afinações. Mais uma vez o operador mede as amostras da peça em cada posto e verifica se estão de acordo com o que está a ser produzido. Com o aumento de rigor da afinação nas atividades anteriores e com a necessidade quase certa de se voltarem a fazer estes pequenos ajustes quando se colocarem as pinças, esta atividade passa a possuir um caráter redundante onde o tempo gasto não traz valor acrescentado na mesma proporção.

Se a afinação dos punções e das matrizes for feita de forma definitiva e correta nas operações que se destinam a isso mesmo, esta atividade pode ser eliminada. Fazer um teste geral transportando a peça manualmente de posto em posto não traz qualquer acréscimo, que permita contribuir para o *setup* do equipamento. Posto isto, foi decidido que esta atividade seria eliminada.

Tabela 9: Tempo poupado na atividade 2.19 (afinação geral da peça)

Tempo sem plano de montagem	Tempo com plano de montagem	Tempo poupado
9 min	0 min	9 min

Colocação e afinação das pinças (2.20)

A montagem das pinças é composta por vários ajustes. A peça agarrada pelas pinças precisa de estar centrada com o punção e com o furo da matriz. Para além disso existem duas cames por cada par de pinças. Uma dessas cames define o tempo que as pinças estão fechadas a segurar na peça enquanto o punção não chega para empurrá-la para dentro da matriz. A outra define o momento em que as pinças vão fechar para agarrar a peça que é extraída da matriz e posteriormente transportada para o próximo posto. Um dos aspetos que torna esta etapa tão demorada é a falta de rigor nas tarefas que a antecedem. É usual que nesta operação se façam ajustes em muitas das afinações que tinham sido feitas anteriormente. É usual que se tenha que mudar algum calço, que se necessite de aumentar ou reduzir a quantidade de arame, que se tenha que ajustar a distância do punção ou que se tenham de fazer ajustes nos extratores das matrizes.

Não havendo soluções para encurtar o tempo que se destina à afinação das pinças e dos tempos de transporte das peças de posto em posto, para se reduzir o tempo gasto nesta atividade é fundamental que se garanta precisão e certeza nas afinações feitas na operações prévias.

Por este motivo, o facto de haver um plano de montagem e por isso uma afinação mais certa nas atividades que prestam essa função, foi possível reduzir o tempo gasto nesta tarefa dos 85,5 minutos para os 58 minutos.

Tabela 10: Tempo poupado na atividade 2.20 (colocação e afinação das pinças)

Tempo sem plano de montagem	Tempo com plano de montagem	Tempo poupado
85,5 min	58 min	27,5 min

4.4.3. REDUÇÃO E SIMPLIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES EXTERNAS

Quanto à redução e simplificação das atividades externas apenas foi possível eliminar duas delas. A eliminação destas atividades é mais uma contrapartida na implementação do plano de montagem. Uma vez que existente o plano de montagem deixa de ser necessário que existam nas caixas de ferramentas amostras de todos os postos das produções anteriores (2.5) porque os seus desenhos já estão no plano de montagem e deixa também de ser necessário ter um caderno que as medidas nos extratores (2.7) pois essa informação também já estará inserida no plano de montagem.

Tabela 11: Tempo poupado na atividade 2.5 (procurar amostras das etapas das produções anteriores na caixa de ferramentas) e 2.7 (recolher caderno com as medidas dos extratores das matrizes)

Tempo sem plano de montagem	Tempo com plano de montagem	Tempo poupado
3,5 min	0 min	3,5 min

4.4.4. REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP* RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO ESTÁGIO 3

Antes da aplicação do estágio 3 – otimização sistemática de todos os aspetos do *setup* – o tempo de *setup* era 246 minutos. Após o terceira e último estágio o tempo de *setup* ficou nos 150,5 minutos, representando uma redução de 38,8 %. Apesar de se terem reduzido 99 minutos, apenas 95,5 contam para a redução real do tempo de *setup* pois 3,5 minutos dizem respeito à eliminação de duas atividades externas, que apesar de não interferirem no tempo que a máquina está parada sem produzir continuam a consumir tempo e recursos que podem ser canalizados para outras atividades.

Tabela 12: Resumo da redução do tempo de *setup* resultante da aplicação do estágio 3

Tempo reduzido pela implementação das atividades paralelas	Tempo reduzido pela redução e simplificação das atividades internas	Tempo reduzido pela redução e simplificação das atividades externas	Tempo total reduzido pela aplicação do estágio 3
32,5	60	3,5	96 min

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA REDUÇÃO DO TEMPO DE *SETUP*

Neste subcapítulo serão apresentados e analisados os resultados decorrentes da implementação da metodologia SMED num equipamento de forjamento a frio de quatro

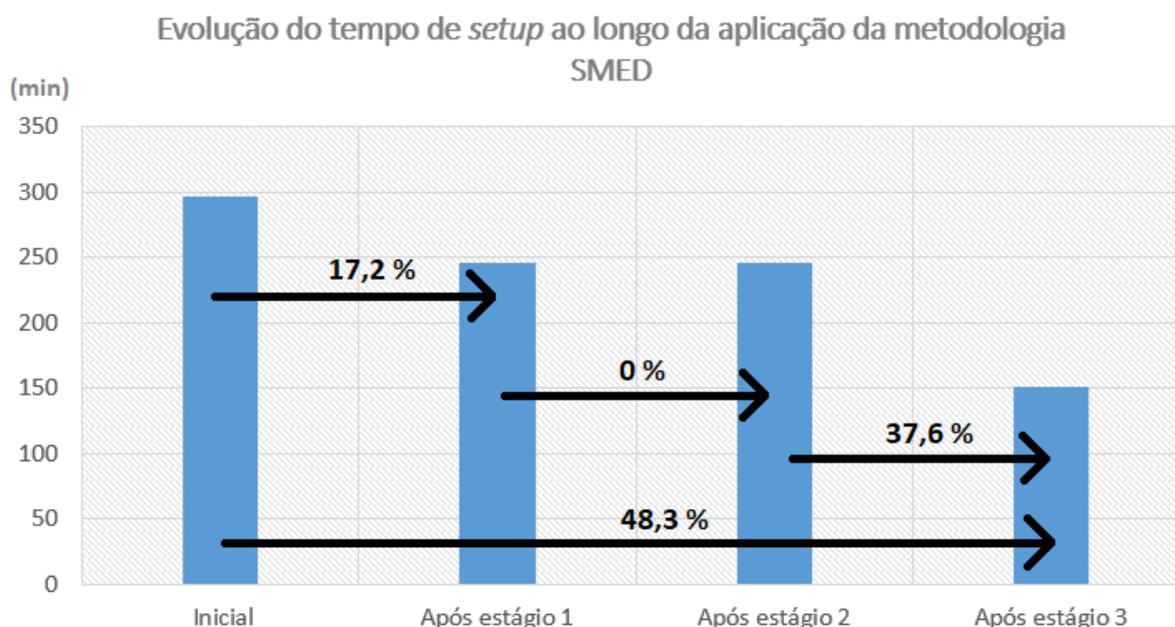
golpes. Abaixo está apresentada uma tabela resumo daquilo que foram os resultados obtidos. Analisando a tabela é possível obter a informação de quanto tempo foi reduzido em cada estágio e de que forma foi atingida essa redução.

Tabela 13: Resultados obtidos na redução do tempo de *setup*

	Pré-setup	Setup	Pós-setup
Tempo inicial de <i>setup</i>	0	297,0	0
Tempo após a aplicação do estágio 1	15,0	246,0	36,0
• Separação das atividades internas e externas	+15,0	- 51,0	+36,0
Tempo após aplicação do estágio 2	15,0	246	15,0
Tempo após aplicação do estágio 3 (tempo final)	11,5	153,5	36,0
• Atividades paralelas	0	-32,5	0
• Redução e simplificação	-3,5	-60,0	0

Antes da aplicação da metodologia SMED o tempo total de *setup* era em média, para o equipamento em questão, 297 minutos. Após a aplicação foi possível reduzir este valor para 153,5 minutos, que corresponde a uma redução de 48,3%.

No gráfico está retratada a evolução do tempo de *setup* ao longo da execução do método. Para além da percentagem de tempo total reduzido, encontram-se também neste gráfico, dados sobre as percentagens de tempo reduzido de estágio para estágio.



Tendo em consideração que não se fez reengenharia do equipamento nem se implementaram melhorias que acarretassem custos relevantes, a redução de 48,3% no tempo de setup é um resultado bastante satisfatório.

Habitualmente, no tipo de equipamento onde foi aplicado o SMED, são feitos de 1 a 2 *setups* por semana. Para os cálculos que se seguem vai-se então considerar que no espaço de 1 mês são feitos 6 setups.

Tabela 14: Ganhos mensais da redução do tempo de *setup*

Tempo (min) gasto por mês em setups antes da aplicação da metodologia SMED	1 782
Tempo (min) gasto por mês em setups depois da aplicação da metodologia SMED	921
Tempo (min) ganho num mês com a aplicação da metodologia SMED	861
Velocidade de produção média (peças por min.)	100
Acréscimo de peças produzidas por mês	86 100

No espaço temporal de 1 mês, depois da aplicação da metodologia SMED são gastos menos 861 minutos (14h 21 minutos) que anteriormente. Esta poupança permite que no mesmo espaço de tempo se produzam mais 86 100 peças. Para além disso, durante este tempo ganho os operadores podem-se dedicar a outras tarefas de maior valor acrescentado.

De seguida será apresentada a tabela atualizada com todas as atividades relacionadas *setup* reorganizadas e com os respetivos tempos de execução.

Tabela 15: Atividades de *setup* após a aplicação da metodologia SMED

Nº da operação	Descrição da Operação	Tempo médio (min)	Tipo de atividade
	Pré- Setup	11,5	
1.3	Ir buscar líquido de limpeza	1	Externa
2.2	Recolher rodas de alimentação da referência que vai iniciar produção	1,5	Externa
2.4	Recolher caixa com ferramentas da referência que vai iniciar produção	4,5	Externa
2.6	Recolher e colocar plano de inspeção junta à máquina da referência que vai iniciar produção	3	Externa
2.10	Montar o cutelo com auxílio de uma prensa	1,5	Externa
	Setup	153,5	
1.4	Limpeza geral da máquina com pistola de ar comprimido	6,5	Interna

1.9	Retirar bússola e cutelo	6	Interna
2.11	Montar a bússola e o cutelo na máquina	5,5	Interna
1.5	Retirar pinças	7	Interna
1.6	Recuar e tirar batente	1,5	Interna
1.7	Retirar punções	3	Interna
1.10	Retirar matrizes	3	Interna
1.12	Tirar rodas de alimentação da referência que terminou produção	3,5	Paralela
2.13	Introduzir o arame e afinar as rodas do sistema de alimentação para o arame correr	14	Paralela
1.15	Retirar arame do desenrolador	5	Paralela
2.1	Colocar arame no desenrolador	5	Paralela
2.3	Colocar as rodas de alimentação do arame	5	Paralela
1.13	Limpeza geral da máquina e do tapete com pistola de ar comprimido e líquido de limpeza	6	Interna
2.8	Ajustar extratores das matrizes	5,5	Interna
2.9	Montar matrizes	8,5	Interna
2.12	Afinar o cutelo com a bússola para passar o arame	10	Interna
2.14	Ajustar comprimento do arame (quantidade de material)	7	Interna
2.15	Colocar punção primeira operação	8	Interna
2.16	Colocar punção segunda operação	6	Interna
2.17	Colocar punção terceira operação	6	Interna
2.18	Colocar punção acabador quarta operação	4-	Interna
2.20	Colocação e afinação dos pares pinças posto a posto e fazer reajustes necessários	58	Interna
2.21	Colocar ar comprimido e lubrificação	2	Interna
	Pós-Setup	36 min	
1.1	Guardar o Cadastro da ferramenta e o plano de inspeção	1	Externa
1.2	Levar peças para próxima operação da referência que acabou	2,5	Externa
1.8	Desmontar e lavar os punções da referência que acabou	13	Externa
1.11	Desmontar e lavar as matrizes da referência que terminou produção	14,5	Externa
1.14	Guardar rodas de alimentação da referência que terminou produção	1,5	Externa
1.16	Guardar caixa de ferramentas	3,5	Externa

Preenchidas a cor de laranja estão as linhas correspondentes às atividades paralelas. As linhas a laranja, entre a atividade 2.11 e 1.5 e a atividade 2.12 e 2.14 marcam os limites onde as atividades paralelas podem ser realizadas. Sucintamente, as atividades escaladas como paralelas podem se realizar depois da atividade 2.11 e antes da 2.14.

4.6. IMPORTÂNCIA DE UMA SEQUÊNCIA INTELIGENTE DE PRODUÇÃO

Quando se parte para a troca de referência, o tempo de *setup* despendido nessa troca está diretamente relacionado com a similaridade de características entre a peça de entrada e a peça de saída. Duas peças com perfis semelhantes levarão a um *setup* mais rápido. Esta é uma situação que, em *setups* tão prolongados como os dos equipamentos de forjamento a frio, na ordem das horas, assume uma especial importância e deve ser contemplada ao nível do planeamento da produção.

Pegemos no exemplo da referência de entrada utilizar um arame com o mesmo diâmetro da referência de saída. Nesta situação, as seguintes atividades deixariam de ser efetuadas.

Tabela 16: Atividades que não precisam de ser realizadas caso o diâmetro do arame da referencia de saída seja igual ao diâmetro de arame da referência de entrada

Nº da operação	Descrição da Operação	Tempo médio (min)	Tipo de atividade
	Pré- Setup	3	
2.2	Recolher rodas de alimentação da referência que vai iniciar produção	1,5	Externa
2.10	Montar o cutelo com auxílio de uma prensa	1,5	Externa
	Setup		
1.9	Retirar bússola e cutelo	6	Interna
2.11	Montar a bússola e o cutelo na máquina	5,5	Interna
1.12	Tirar rodas de alimentação da referência que terminou produção	3,5	Paralela
2.13	Introduzir o arame e afinar as rodas do sistema de alimentação para o arame correr	14	Paralela
1.15	Retirar arame do desenrolador	5	Paralela
2.1	Colocar arame no desenrolador	5	Paralela
2.3	Colocar as rodas de alimentação do arame	5	Paralela

2.12	Afinar o cutelo com a bússola para passar o arame	10	Interna
	Pós-Setup	1.5	
1.14	Guardar rodas de alimentação da referência que terminou produção	1,5	Externa

Neste caso (referência de entrada utiliza o mesmo diâmetro de arame da referência de saída), todas as substituições relacionadas com a alimentação de arame (troca das rodas de alimentação, cutelo, bússola, troca de arame, ...) deixariam de ser realizadas. Olhando para a tabela das operações, todas as atividades que foram transformadas em paralelas deixam de precisar de ser efetuadas. O tempo de *pré-setup* é reduzido em 3 minutos, o tempo de *setup*, para além da não execução das atividades paralelas (32,5 minutos) é reduzido em 21,5 minutos e o tempo de *pós-setup* é reduzido em 1,5 minutos.

O simples facto de a referência de entrada utilizar um arame com o mesmo diâmetro da referência de saída, além de dispensar a necessidade de ter um segundo operário a realizar atividades paralelas, leva a uma redução do tempo de *setup* de 14%.

Estes são factos que comprovam a importância de haver um sequencia de produção inteligente, sendo fundamental a existência de modelos que determinem as sequências de produção mais apropriadas, tendo por exemplo, uma gestão da produção baseada em grupos ou famílias de referência que reúnem aquelas que efetivamente possuem graus de similaridade maiores.

4.7. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada a aplicação da metodologia SMED ao *setup* de um dos equipamentos multiestações presentes no setor do forjamento a frio da empresa ETMA Metal Parts.

Ficou demonstrado que com uma organização dos processos de montagem é possível alcançar uma redução significativa do tempo de *setup* trazendo benefícios relevantes para a produção e para a qualidade dos produtos.

Apesar de haver a consciência que o objetivo da metodologia SMED passa por reduzir o tempo de *setup* para valores abaixo dos 10 minutos, este é um objetivo inalcançável neste caso de estudo particular. Ainda assim os seus métodos foram seguidos com vista a reduzir ao máximo os tempos de *setup* praticados.

Inicialmente o equipamento em questão tinha tempos de *setup* a rondar os 297 minutos e foi possível reduzir este valor para 153,5 minutos, que corresponde a uma redução de 48,3% do tempo de *setup*.

Com este resultado, para além de ganhos ao nível da produção, é possível obter ganhos ao nível da qualidade.

Os ganhos na qualidade dos produtos resultam tanto da utilização do tempo ganho numa inspeção mais metódica e rigorosa das produções como da existência de procedimentos de *setup* mais organizados e normalizados. Isto levará uma deteção mais precoce das peças não conformes a uma redução da quantidade de defeitos que resultam de *setups* desorganizados e pouco normalizados.

5. MELHORIA CONTÍNUA DA QUALIDADE

Quando se pretende implementar uma continua melhoria nos processos inerentes a uma indústria, um dos fatores mais importantes são os colaboradores. Para que se atinjam todos os resultados pretendidos é fundamental que exista total cooperação e envolvimento de todas as partes, desde a gestão de topo até aos operários. Não obstante, este é um dos objetivos mais difíceis de alcançar.

No limite, no caso em questão, os operadores das máquinas de forjamento são os responsáveis pelo que na realidade traz valor à empresa, os produtos, e por isso é fundamental que estejam totalmente alinhados e formados para proceder corretamente.

Neste sentido, mais que implementar melhorias é fundamental encontrar mecanismos e condições para que estas se possam perpetuar ao longo do tempo. Para isto, foram feitas campanhas de sensibilização de forma a dar-lhes a entender a importância da melhoria continua e da exigência de qualidade, de forma envolvê-los nestes projetos e de forma a demonstrar-lhes as mais valias de procedimentos que à primeira vista não têm grande relevância.

5.1. REGISTOS DE QUALIDADE

As exigências dos clientes para que os produtos adquiridos estejam de acordo com as especificações técnicas esperadas são cada vez maiores e continuam a crescer ao longo do

tempo. Por este motivo é fulcral para as empresas a criação de mecanismos e processos que permitam garantir que os produtos expedidos cumpram as expectativas.

Os operários assumem um papel fundamental na qualidade dos produtos fabricados, no entanto, este aumento de exigência por parte do mercado muitas vezes não foi acompanhado por um também necessário aumento da exigência, por parte dos colaboradores, pelos produtos fabricados.

É difícil para um trabalhador que toda a sua vida procedeu de determinada maneira perceber que tem de começar a proceder de outra. Portanto a sensibilização dos operários e a sua formação para agirem corretamente é um trabalho difícil, mas fundamental para atingir a satisfação dos clientes.

Uma das formas de prevenir que se estejam a fabricar peças não conformes e de que essas peças, muitas vezes indetetáveis em encomendas com centenas de milhares, sigam para os clientes, é a constante verificação das cotas durante a produção. Uma constante verificação permite que se detetem os defeitos mais cedo e mais vezes, reduzindo a quantidade de peças que têm de ser sucataadas, escolhidas ou retrabalhadas e mais uma vez reduzindo o número de peças não conformes que chegam aos clientes.

A empresa ETMA Metal parts possui um sistema onde os colaboradores regularmente têm de fazer registos das cotas das referências que estão produção. Isto permite garantir que os colaboradores estão a monitorizar constantemente as produções e permite que se tenha informação sobre como cotas das peças estão a evoluir ao longo da produção.

Apesar de existir este sistema, os colaboradores não cumpriam devidamente o que estava estipulado, fazendo um número de registos abaixo do pretendido. No sentido de aumentar esse número de registos foi feito um trabalho de sensibilização e monitorização diária dos registos de forma a promover junto dos operários a importância de o fazerem.

Para se avaliar a sensibilização levada a cabo foi comparado o período de quatro meses onde a mesma decorreu (de março de 2022 a junho de 2022) com os quatro meses que antecederam esse período (de novembro 2021 a fevereiro de 2022) e com os quatro meses homólogos do no transato (de março de 2021 a junho de 2021).

Os dados estão apresentados nas próximas tabelas.

Tabela 17: Número de registos de março 2022 a junho 2022

Março 2022 a Junho 2022

Nº Peças	Nº Registos	Registos por Peça
289	5920	20,48

Tabela 18: Número de registos de novembro 2021 a fevereiro 2022

Novembro 2021 a Fevereiro 2022

Nº Peças	Nº Registos	Registos por Peça
266	4907	18,45

Tabela 19: Número de registos de março 2021 a junho 2021

Março 2021 a Junho 2021

Nº Peças	Nº Registos	Registos por Peça
285	4658	16,34

Como se pode verificar com a sensibilização dos operários, o número de registos e o número de registos por peça relativamente aos períodos usados como forma de comparação aumentou. Este aumento é mais acentuado quando se compara o período da sensibilização com o período homologado do ano transato, o que mostra que com o passar do tempo os registos tem vindo a aumentar de forma consistente. Isto demonstra os efeitos positivos da sensibilização dos operários, que com o passar do tempo e com a aceitação de que estas atividades são importantes começam a assimilar como tarefas rotineiras, tarefas que inicialmente eram novas e complicadas.

5.2. SENSORES DAS MÁQUINAS

Outro aspeto onde se efetuou um trabalho de consciencialização foi na importância dos sensores de esforço das máquinas de forjamento. Para além de outros sensores, as máquinas de forjamento possuem um sensor de esforço em cada punção. Cada referência que vai ser fabricada sofre em cada posto um esforço diferente dependendo da deformação que está a ser provocada no material. A máquina faz uma aprendizagem inicial e grava os valores de esforço considerados normais para cada posto da referência em produção. Cada vez que os valores de esforço saem do intervalo considerado normal a máquina interrompe

a sua produção. Isto permite que caso a ferramenta de um dos postos sofra uma rutura ou caso o material fique agarrado ao punção acabador a máquina pare, impedindo que se parta mais ferramenta e que se produzam peças não conformes. Estes sensores, quando utilizados de forma apropriada, assumem um papel fundamental na preservação da ferramenta e na prevenção da produção de peças defeituosas.

Muitas vezes, quando estes sensores começam a ser acionados demasiadas vezes sem que os operários percebam porquê desligam-nos ou reduzem-lhes a sensibilidade. Havendo mesmo máquinas que acabam por trabalhar com os sensores desligados.

É importante consciencializar os operadores para não seguirem este tipo de procedimentos. Ao invés de desligar os sensores, optando pela maneira mais fácil, mas menos correta de resolver o problema de a produção estar sempre a parar, é importante ir ao cerne na questão e perceber o porquê de isso estar a acontecer, mesmo que aparentemente não haja nada de errado com a máquina.

Na impossibilidade de se compreender o motivo pela qual as máquinas estão a parar, é essencial que se escale o problema para os órgãos com maior responsabilidade, de forma a procurar soluções para garantir qualidade dos produtos e uma vida útil mais prolongada das ferramentas.

5.3. CADASTROS DAS FERRAMENTAS

A acompanhar a ferramenta de cada referência existe um cadastro onde estão presentes informações necessárias sobre a ferramenta e sobre a respetiva referência. Este cadastro para além de ser informativo também serve para se fazerem registos sobre as manutenções feitas à ferramenta.

Constatou-se que muitas das ferramentas não eram acompanhadas, como era espectável, por este cadastro e que em grande parte dos casos, nos cadastros existentes, não estavam a ser realizados registos das manutenções efetuadas às ferramentas.

Neste sentido, inicialmente foi feito o trabalho de se garantir que todas as ferramentas eram acompanhadas pelo cadastro. Posteriormente foi feita uma ação de incentivo e sensibilização dos operários para passarem a fazer os registos das manutenções feitas. Estes registos são fundamentais para se criarem planos de manutenção preventiva eficazes e principalmente para pô-los em prática. Os registos das manutenções são importantes para

os operários perceberem qual é o desgaste da ferramenta disponível quando vão iniciar um novo *setup*.

Para além disso, a recolha de dados é fundamental para que, depois de analisados, se possa perceber onde estão os desperdícios e os gastos excessivos em ferramentas, com vista a implementar planos para maximizar os recursos e garantir que são usados eficientemente. Um consumo excessivo de ferramenta pode estar associado a alguma deficiência ou falha que precisa de ser analisada de forma mais pormenorizada.

5.4. COMENTÁRIOS E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados três temas onde foi necessário proceder a uma sensibilização dos operadores com vista a melhorar o funcionamento do setor.

Foi necessário demonstrar aos colaboradores a importância da realização dos registos de qualidade, da correta utilização dos sensores dos equipamentos e da realização dos registos das manutenções realizadas.

A cooperação e a aceitação dos colaboradores à implementação de novos procedimentos é sempre uma meta difícil de alcançar. No entanto, atingir este fim é fundamental para que os resultados pretendidos da implementação de melhorias e novas metodologias sejam alcançados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, terminada a exposição do trabalho realizado, será feito um balanço final do mesmo, sumariando aquilo que foi feito e apresentando as conclusões e as perspectivas e trabalhos futuros.

6.1. CONCLUSÕES

O objetivo de partida deste projeto foi o estudo e otimização de sistemas de apoio à qualidade no forjamento a frio. Avaliando o trabalho desenvolvido pode-se concluir que foram desenvolvidos projetos e metodologias que permitiram incrementar o nível de qualidade do setor o mitigar a produção de peças não conformes que geram prejuízos e reclamações por parte dos clientes.

A revisão bibliográfica assumiu grande importância como ponto de partida desta dissertação, permitindo ficar a conhecer de forma aprofundada a tecnologia de forjamento de a frio. Permitiu ainda adquirir conhecimentos sobre os seus pontos fortes, sobre os procedimentos e as variáveis envolvidas e que têm de ser tidas em consideração neste processo de fabrico e permitiu ficar a conhecer o modo de funcionamento dos equipamentos utilizados. Estes conhecimentos foram fundamentais e funcionaram como base para posteriormente se partir para a idealização das melhorias a implementar.

A análise das reclamações e dos defeitos de 2021 proporcionou que se percebesse de forma rápida e eficaz alguns dos problemas que o setor enfrentava facilitando a perceção e a escolha das melhorias que seriam mais relevantes pôr em prática.

Passando à análise das melhorias idealizadas para os equipamentos, com a implementação do sensor no batente foi possível resolver um dos problemas recorrentes do setor, a má alimentação de material nas máquinas de forjamento. Nesta melhoria foi ainda possível aplicar numa situação industrial os conhecimentos de mecatrónica aprendidos ao longo do mestrado em sistemas mecatrónicos. De salientar que todas as decisões na implementação deste sensor foram tomadas de forma que se criasse um sistema de deteção simples e que funciona para qualquer que seja a referência que está a ser produzida, permitindo uma fácil utilização por parte dos operadores da máquina e permitindo que esta se torne uma melhoria permanente e duradoura.

Ainda no que toca a melhorias aplicadas aos equipamentos, com a simples aplicação de uma calha e um separador foi possível idealizar um sistema simples e sem custos monetários de relevo que permite a separação das peças que caem durante o transporte de posto para posto nas máquinas multiestações. Com esta aplicação é possível impedir que as peças inacabadas se juntem com as peças que completaram todas as etapas de deformação previstas, evitando que por este motivo seguiam para o cliente produtos não conformes que resultaram em reclamações.

A aplicação da metodologia SMED permitiu alcançar uma redução significativa do tempo de *setup* de um dos equipamentos multiestações presentes no setor de forjamento. Apesar do objetivo desta metodologia ser a redução do tempo de troca de referências para valores abaixo dos dois dígitos (10 minutos) foi possível fazer uso dos seus procedimentos para se conseguir uma redução de 48,3% do tempo total de *setup* passando dos 297 minutos em média, para os 153,5 minutos.

Contudo este ganho imediato não é a única contrapartida da aplicação desta metodologia. A redução dos tempos de troca de ferramenta torna desnecessária a existência de grandes stocks que acarretam custos, permite a redução dos prazos de entrega através de uma maior flexibilidade e disponibilidade dos equipamentos promovendo a competitividade da empresa e trazendo benefícios económicos. Para além destes benefícios, o mais importante tendo em conta o principal objetivo deste trabalho, prende-se com o facto de proporcionar melhorias na qualidade. As melhorias na qualidade são evidentes quando se produzem lotes mais reduzidos pois obrigam a uma maior eficácia na prevenção de defeitos, de forma a obter um rácio maximizado de peças boas no lote. Fruto do tempo ganho na fase de *setup*, a frequência do controlo e inspeção da produção pode também ser aumentada, garantindo maior rapidez na atuação sobre a causa raiz, menor propagação dos defeitos e um tratamento do produto não conforme otimizado. Por outro lado, o facto de se organizar e normalizar os procedimentos de *setup* levará a redução da quantidade de defeitos causados por erros humanos resultantes de *setups* desorganizados e pouco normalizados.

Para finalizar, durante a elaboração deste trabalho, e através do contacto direto com os colaboradores de uma indústria foi possível perceber que um dos principais entraves ao progresso e à melhoria continua são os recursos humanos. Para que se atinjam os resultados pretendidos nestas ações de melhoria são fundamenta a cooperação e a participação de

todas as partes envolvidas desde a gestão de topo até aos operadores das máquinas. É fundamental que se tomem decisões que agradem a todas as partes implicadas com vista a tornar estas melhorias viáveis, proveitosos e permanentes. Neste sentido, a sensibilização e formação dos colaboradores é um passo fundamental para que toda a gente proceda da forma que se espera e para que sejam tomadas as decisões e as ações corretas quando ocorrem contrariedades, para que se atinjam os níveis pretendidos de qualidade.

6.2. PERSPETIVAS E TRABALHOS FUTUROS

De forma a dar continuidade ao trabalho elaborado nesta dissertação propõe-se o desenvolvimento de alguns trabalhos futuros que se prendem essencialmente com o alargamento do trabalho já realizado em alguns equipamentos aos outros equipamentos do setor.

No que toca à implementação do sensor no batente, a instalação de todo o sistema ficou em ponto de teste. O próximo passo será realizar uma instalação final de todo o projeto idealizado, nomeadamente a colocação dos botões e dos leds de aviso para que possa passar a ser utilizado permanentemente e autonomamente pelos operários. Para além disto, seria pertinente a aplicação deste sistema a todos os equipamentos de dois golpes presentes no setor.

O mesmo se aplica à implementação da calha para fazer a separação das peças inacabadas. O próximo passo será aplicar o mecanismo concebido aos restantes equipamentos multiestações.

Quanto à redução dos tempos de *setup*, futuramente seria relevante que se fizesse um estudo semelhante para os restantes equipamentos multiestações. Para além disso, seria pertinente que se fizesse uma aplicação desta metodologia aos equipamentos de dois golpes.

De forma a dar continuidade e a exponenciar e efetivar os ganhos obtidos no setor com a redução dos tempos de *setup* é fundamental que futuramente se proceda à otimização de todas as atividades sobre as quais o forjamento de peças está dependente. Concretizando, o aumento de produtividade, qualidade e organização do setor não atingirão os seus níveis máximos caso todas as etapas que precedem a produção das encomendas não acompanhem esse nível de otimização e bom funcionamento. Portanto, o planeamento da

produção, o projeto das ferramentas, a compra de materiais para fabricar as ferramentas, o fabrico das ferramentas, a gestão de stocks de ferramentas e componentes consumíveis, a manutenção dos equipamentos, a manutenção das ferramentas e a inspeção da produção por parte do departamento de qualidade são atividades que futuramente merecem ser alvo de uma análise de forma a serem otimizadas e reduzir o tempo gasto nestas atividades.

BIBLIOGRAFIA

- Accadrolli, Gláucio (2020). *Análise de desgaste de materiais aplicados em ferramentas de forjamento a frio*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- Altan, T ; Ngai, G & Shen, G. (2004). *Cold and Hot Forging: Fundamentals and Applications*. The Materials Information Society;
- Bassan, Fabio (2014). *Simulating Multi-Stage Cold Forging to Reduce Time-To-Make and Production Cost*. *New equipment Digest*;
- Bidarra, Tiago (2011). *Implementação da metodologia SMED numa empresa do sector da indústria automóvel*. Dissertação de mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã;
- Carbonell, F. (2013). *Technical SMED. Preparation Time Reduction*. Revista de investigación. Editada por Área de Innovación y Desarrollo, S.L.;
- Cutler, Thomas (2019). *Automation in Forging Industry Speeds Production and Increases Safety*. *Manufacturing Tomorrow*. Consultado em setembro 19, 2022 em <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2019/04/automation-in-forging-industry-speeds-production-and-increases-safety/13191>
- Ferreira, Vítor (2018). *Metodologia SMED – Estudo do Trabalho de redução dos Tempos de Setup*. Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu;
- Harrison, C. S. (2014). *A review of automation in manufacturing illustrated by a case study on mixed-mode hot forging*. *Manufacturing Review*, 1, 15.
- Herr, Karten (2014). *Quick Changeover Concepts Applied* (1ª ed.). Productivity Press.
- Hutson, Jan (2009). *Forge Shop Automation: Part One*. *Forge Magazine*. Consultado em setembro 19, 2022 em [Forge Shop Automation: Part One | FORGE \(forgemag.com\)](https://www.forgemag.com/forge-shop-automation-part-one/)
- Jo, A. R., Jeong, M. S., Lee, S. K., Moon, Y. H., & Hwang, S. K. (2021). *Multi-Stage Cold Forging Process for Manufacturing a High-Strength One-Body Input Shaft*. *Materials* (Basel, Switzerland), 14(3), 532;
- Klocke, Fritz (2013). *Manufacturing Processes 4: Forming*. Springer Science;
- Lopes, R.; Neto, C.; Pinto, J.P. (2006) *Quick Changeover: Practical application of method SMED*. Tecnometal;

- Melntosh, R.; Owen, G.; Culley, S.; & Mileham, T. (2007). *Changeover improvement: reinterpreting Shingo's methodology*. IEEE transaction on Engineering Management, 54, 98-111;
- Monden, Y. (1984) *Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota*. IMAM, São Paulo;
- Ohno, Taiichi (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, New York;
- Ortiz, C. (2009). *Kaizen e Implementação de Eventos Kaizen*. Bookman, Porto Alegre;
- Pinto, J. L. (2009) *Modelo de Implementação do pensamento JIT - Uma abordagem prática aos conceitos*. Publindustria Edições Técnicas;
- Pires, A. R. (2007), *Sistemas de Gestão da Qualidade 3ª edição*, Edições Sílabo;
- Rodrigues, J.; Martins, P. (2005) *Tecnologia Mecânica - Vol.2*. Lisboa: Escolar editora;
- Santos, Leonardo (2021). *Processos de Conformação a Frio – Parte I*. Consultado em Maio 15, 2022 em <https://pt.linkedin.com/pulse/processos-de-conforma%C3%A7%C3%A3o-frio-parte-1-introdu%C3%A7%C3%A3o-leonardo>;
- Schaeffer, L. (2001). *Forjamento: Introdução ao processo*. Imprensa livre, 15, 15-1;
- Schey, J (1983). *Tribology in Metalworking: Lubrification, Friction, and Wear*. American Society for Metal;
- Shingo, Shigeo (1985). *A Revolution in Manufacturing: The Smed System*. Productivity Press, New York;
- Williams, Del (2022). *Skilled Forging Labor Shortage: Automation Can Bridge the Gap*. *New Equipment Digest*. Consultado em setembro 20, 2022 em <https://www.newequipment.com/industry-trends/article/21215123/skilled-forging-labor-shortage-automation-can-bridge-the-gap>
- Yamanaka, M., and Sunami, F. (2002). *Tool Design for Precision Forging, Cold and Warm Precision Forging Workshop*, Schuler Inc., Yamanaka Engineering, Scientific Forming Technologies Corp., and ERC/NSM, Nov 14, 2002 (Canton, MI);