



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS CENTRO  
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOSÉ WILSON ARAÚJO DA SILVA**

**REDUÇÃO DOS DEFEITOS DE FORJAMENTO COM MELHORIAS NO  
PROCESSO**

**MANAUS, 2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS CENTRO  
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOSÉ WILSON ARAÚJO DA SILVA**

**REDUÇÃO DOS DEFEITOS DE FORJAMENTO COM MELHORIAS NO  
PROCESSO**

Projeto de pesquisa apresentado à unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso, submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof.(a) **Gutemberg da Silva Arruda.**

**MANAUS, 2022**

**Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro**

---

S586r Silva, José Wilson Araújo da.  
Redução dos defeitos de forjamento com melhorias no processo / José  
Wilson Araújo da Silva. – Manaus, 2022.  
43 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus  
Centro, 2022.

Orientador: Prof. Me. Gutemberg da Silva Arruda.

1. Engenharia mecânica. 2. Forjamento. 3. Processos - melhoria. I.  
Arruda, Gutemberg da Silva. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia do Amazonas IV. Título.

CDD 621

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus primeiramente, Autor e Consumador de toda a vida, que me deu capacidade para desenvolver este trabalho.

À minha esposa Quésia, que eu amo demais, meu ombro amigo, minha auxiliadora, que sempre me apoiou em todo esse processo, teve paciência em todo esse processo, e conseguiu me dar forças principalmente nessa reta final.

Aos meus pais, José Mendonça e Raimunda Nonata, que me criaram, me prepararam para os desafios da vida, me ensinaram a ser um bom cidadão e me deram tudo o que precisei até chegar no momento certo.

Ao meu supervisor Sebastião Kramer, que sempre acreditou no meu trabalho, e me deu oportunidade de demonstrá-lo no ambiente profissional.

Aos meus colegas de trabalho Sandra Marla, Helivandro Moraes, Marcos Viana e João Bosco, que compraram a ideia junto comigo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu supervisor Régis Carvalho, que me ajudou e me orientou bastante a desenvolver esse trabalho.

Ao meu professor orientador Gutembergue Arruda, que apesar do tempo limitado, consegui me ajudar, e desde o ensino médio no IFAM, sempre foi um grande exemplo para mim.

Aos meus colegas de curso e demais professores, que me auxiliaram nesses cinco anos de trabalho duro e renúncia para chegar a essa meta final.

E finalmente, a todos que contribuíram de forma direta e indireta com este trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

Os tempos modernos da indústria trouxeram com eles uma crescente necessidade de reduzir custos, primeiramente como uma base fundamental para sobrevivência das empresas mas também como parte da Agenda 2030 da ONU por meio das ODS (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável)(NAÇÕES UNIDAS, 2022), que propõe 17 objetivos, que se desdobram em 169 metas, com foco em superar as principais dificuldades para o desenvolvimento enfrentados pelos cidadãos das 193 nações filiadas à organização, tendo como objetivo promover com essas ações o crescimento sustentável de forma global até o ano de 2030 (HABITABILITY, 2022). Considerando as legislações que pautam a ZFM (Zona Franca de Manaus) que as empresas instaladas no Polo Industrial de Manaus precisam cumprir, o presente trabalho desenvolvido teve como objetivo reduzir os desperdícios com peças sucateadas numa empresa do ramo metalúrgico que fornece peças para o polo de duas rodas, promovendo por meio de estudos como esse a visão corporativa da empresa de, até o ano de 2038, tornar seus processos de fabricação adequados ao pilares de desenvolvimento sustentável. Como parte da visão da empresa, diversos trabalhos de melhorias têm sido realizados em diversos setores da companhia, incluindo o setor de forjaria, onde foi focado esse trabalho. O estudo realizado visou reduzir a quantidade de peças sucateadas de diversos defeitos estudados durante o processo de forjamento a quente em matriz aberta de produtos na linha de fabricação das peças denominadas ABC (nome fictício), visando reduzir o defeitos de forjamento e além de reduzir a incidência dos defeitos, buscou-se também reduzir os impactos financeiros para a companhia com compra de matéria-prima (aço) e de insumos em geral do processo, como matrizes, lubrificante de matrizes (desmoldante), OEE, entre outros itens, trazendo cada vez mais a companhia para os moldes das ODS da ONU.

**Palavras-chave:** FORJAMENTO, REDUZIR, SUCATA

## **ABSTRACT**

Modern industry times have brought with them a growing need to reduce costs, primarily as a fundamental basis for companies' survival but also as part of the UN Agenda 2030 through the Sustainable Development Goals (SDGs), which proposes 17 goals, which unfold into 169 goals, with a focus on overcoming the main development difficulties faced by the citizens of the 193 nations affiliated to the organization, aiming to promote sustainable growth globally by the year 2030. Considering the laws that guide the ZFM (Manaus Free Trade Zone) that companies installed in the Industrial Pole of Manaus need to comply, the present work developed aimed to reduce waste with scrapped parts in a company in the metallurgical industry that provides parts for the two-wheelpole, promoting through studies such as this the corporate vision of the company, by the year 2038, make its manufacturing processes suitable for sustainable development pillars. As part of the company's vision, several improvements have been carried out in various sectors of the company, including the forging sector, where this work has been focused. The study aimed to reduce the amount of scrapped parts of various defects studied during the hot forging process in open matrix of products in the manufacturing line of parts called ABC ( fictitious name), aiming to reduce forging defects and in addition to reducing the incidence of defects, we also sought to reduce the financial impacts for the company with the purchase of raw material (steel) and ingeneral of the process, as matrizes, matricelubricant (demoulding), OEE, among other items, increasingly bringing the company to the molds of the UN SDGs.

**Keywords:** FORGING, REDUCE, SCRAP

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	8
2.	JUSTIFICATIVA.....	10
3.	OBJETIVOS.....	11
3.1	Objetivo Geral.....	11
3.2	Objetivos específicos.....	11
4.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1	Breve histórico do forjamento.....	12
4.2	Tipos de processos de forjamento modernos.....	14
4.3	Temperatura de forjamento.....	21
4.4	Ganhos de temperatura.....	21
4.5	Outros processos de forjamento.....	22
4.6	Matrizes de forjamento.....	23
4.7	Defeitos dos materiais forjados.....	25
5.	METODOLOGIA.....	27
5.1	Definição da empresa.....	27
5.2	Produto.....	27
5.3	Etapas do trabalho.....	27
5.4	Projeto para redução do índice de sucata.....	28
5.5	Descrição do processo.....	28
5.6	Procedimentos metodológicos.....	29
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	30
6.1	Definição do problema.....	30
6.2	Brainstorming.....	34
6.3	Implantação das melhorias.....	34
7.	IMPLANTAÇÃO DAS MELHORIAS.....	35
7.1	Solução para Estágio Incompleto.....	35
7.2	Solução para Falha de material.....	35
7.3	Solução para Dobra de forja.....	36
7.4	Solução para peças Batidas.....	37
8.	RESULTADOS OBTIDOS.....	39

9.	CONCLUSÕES .....	42
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro da Engenharia Mecânica existem diversos processos de fabricação que são utilizados como ferramentas para conformação de metais, principalmente aços, ferros e alumínio, para dar formas diversas aos materiais utilizados.

Dentro dos processos de fabricação, tem-se o conceito de que esses processos são enquadrados dentro da fase plástica do Diagrama Tensão x Deformação, pois são processos em que a deformação que é aplicada ao material é permanente dentro das condições do processo, ou seja, não é possível desfazer a forma aplicada do material salvo em alguns tipos de processos.

Segundo (GROOVER, 2014), o forjamento é um processo de conformação no qual a peça processada é comprimida entre duas matrizes, ora por meio de impacto ou a partir de uma pressão gradativa para dar forma à peça. O processo faz parte dos processos de fabricação mecânica aplicado na indústria em processamento de metais para fabricação de peças diversas, desde peças para motores automotivos até elementos de máquinas diversos.

Porém, todos os processos de fabricação possuem suas vantagens e desvantagens. Uma das principais vantagens do processo de forjamento é a capacidade do processo de ser aplicado em produção em massa desde que se possua o maquinário adequado, e é um processo que entrega um nível de qualidade alto para os produtos e tem uma alta lucratividade. Porém é um processo que possui muitos parâmetros a serem considerados e analisados durante a implantação e desenvolvimento dos produtos, além de ter um alto custo de produção, e uma certa demora em ter um payback relevante à empresa.

Então entra o foco deste trabalho, que é redução de custo com sucata no processo de fabricação das peças do tipo ABC, que são classificadas como mesa inferior do guidão da moto, responsável por promover o alinhamento, o direcionamento e controle da pilotagem, além de limitar o giro do guidão.

A partir dessa motivação, fomos desafiados pela supervisão do setor de forjaria a estudar formas de melhorar o processo, como parte do grupo técnico setorial. Realizamos um estudo utilizando as ferramentas da qualidade e mediante dados da plataforma SAP, identificamos os principais defeitos de rejeitos de peças e a partir desses dados, fizemos o mapeamento dos principais problemas no processo que eram causadores do defeito Falha de material, ou Peças falhadas, elaboramos um plano de ação para efetuar melhorias no processo e assim conseguir atingir as metas desejadas pelo setor.

A partir daí, foram executados estudos sobre os sistemas do maquinário para identificar os principais problemas, e aplicar melhorias que representassem redução na quantidade, e assim colaborassem para reduzir o índice de sucata setorial. De forma resumida, os objetivos específicos deste trabalho serão: redução do índice de sucata geral do processo atingindo os principais defeitos conhecidos.

Porém, inicialmente, teremos uma revisão do processo de conformação Forjamento, um breve histórico, detalharemos os seus principais tópicos, tipos de processo, parâmetros, até chegarmos nos objetos de estudo.

## 2. JUSTIFICATIVA

Dentro de qualquer área industrial, a sucata sempre é mostrada como resultado de um erro que ocorreu dentro do processo. Erros são comuns, e na indústria não é exceção. Mas o principal fato relacionado à sucata é que, dentro da indústria, sucata representa perda em vários aspectos: Matéria-prima, ar, água, energia elétrica, mão-de-obra, insumos, entre outros diversos fatores.

Falando em termos ambientais, essas perdas mencionadas anteriormente representam ir na direção contrária das ODS da ONU, especificamente mencionando a Agenda 2030 (NAÇÕES UNIDAS, 2022). Dentro das ODS, temos a ODS 9, que fala sobre Indústria, Inovação e infraestrutura, e como desenvolver uma indústria forte, porém inclusiva e sustentável, através de uma conscientização e investimentos em meios de processamento responsáveis ecologicamente. Isto envolve um melhor uso dos recursos, justamente recursos que sempre são perdidos em sucata. Então a redução de sucata está sim dentro das diretrizes da ODS e da Agenda 2030.

O processo de forjamento do estudo em questão é um processo único em Manaus, dentro da empresa em questão, e é a única que produz para algum cliente a peça ABC, que vai no garfo dianteiro das motocicletas, então o estudo em particular representa uma oportunidade de realizar melhorias em um processo de fabricação que já é único em Manaus e no grupo da empresa que a mesma faz parte de forma global, tornando-o mais rentável e possível de ser aplicado em outras empresas do mesmo grupo, para futuramente também fornecerem o mesmo tipo de peça aos seus clientes do ramo de montagem de motocicletas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Reduzir o índice de defeitos em peças do processo de forjamento da peça de moto denominada ABC, construindo o trabalho dentro das normas da instituição (SALES et al., 2018).

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Levantar os principais defeitos em peças conhecidos do processo de forjamento da peça em questão;
- Estudar melhorias no processo de fabricação para reduzir os principais defeitos conhecido;
- Aplicar as melhorias para atingir as metas e avaliar os resultados.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Breve histórico do forjamento

O forjamento é um processo de conformação no qual a peça processada é comprimida entre duas matrizes, ora por meio de impacto ou a partir de uma pressão gradativa para dar forma à peça. É a mais antiga das operações de conformação de metais, datadas talvez em 5000 a.C. Atualmente, o forjamento é um importante processo industrial usado para fabricar uma variedade de componentes de alta resistência para aplicações automotivas, aeroespaciais, entre outras. Estes componentes incluem virabrequins de motores e bielas, engrenagens, componentes estruturais de aeronaves e peças de bocais de motores de turbinas. Além disso, indústrias de aços e outros metais usam o forjamento para obter a forma básica de grandes componentes que serão usinados posteriormente para as formas e dimensões finais (GROOVER, 2014).

As primeiras referências à tecnologia da deformação plástica encontram-se no Oriente Médio, no final da Idade da Pedra, e referem-se à fabricação por martelamento de objetos forjados em ouro, prata e cobre, destinados a fins artísticos e religiosos, e ferramentas mais duradouras do que as de pedra. Estes materiais eram recolhidos e trabalhados no estado em que eram encontrados na natureza, por intermédio da aplicação de golpes, uma vez que ainda não se conheciam as técnicas de transformação e processamento do minério – a esta técnica deu-se o nome de forjamento (FERNANDES FARIAS, 2017)

Analisando a história, durante os períodos históricos humanidade, o metal faz parte de grande parte do desenvolvimento da tecnologia. Durante a Idade de Cobre (4000 A.C.), surgem os primeiros fornos. Durante essa época, o desenvolvimento do processo sofre um novo impulso, pois torna-se possível atingir a temperatura de fusão do cobre de forma controlada e este passa a ser produzido em maiores quantidades, resultando num grande incremento na fabricação de utensílios domésticos, religiosos, agrícolas e militares. Também foi nesta mesma época que se aperfeiçoaram as técnicas de forjamento a frio e a quente com o uso de martelos (SELAU MARQUES, 2013).

A partir daí, foram realizadas as primeiras tentativas de fazer uma liga entre metais, usando o minério já conhecido cobre com outros metais, obtendo-se o bronze, dando início justamente a Idade do Bronze, no período de 2000 A.C. Com isso, o ser humano consegue utilizar criar um material que possui características mecânicas muito

superiores às que eram obtidas com apenas o cobre. Inclusive o bronze foi umas das ligas mais bem sucedidas da história da humanidade, sendo utilizada até hoje, inclusive considerado um dos metais mais valiosos do mundo até hoje, o que é bastante interessante pois o cobre é um metal caro atualmente, amplamente utilizado na fabricação de fios e cabos elétricos por conta de suas propriedades de condução, e na Idade do Bronze, descoberto o Estanho e realizada a liga, o material conferiu a liga a resistência, permitindo ao homem criar ferramentas bem mais resistentes (ROMARIS DUARTE, 1977).

Porém, nessa época, o que limitava o tamanho das peças forjadas era a força muscular do ferreiro. As maiores peças forjadas eram as âncoras de navios. Para se obter peças maiores, foi desenvolvido o processo de soldagem pelo forjamento. Neste período, a maior peça forjada conhecida foi a coluna de Delhi, com diâmetro de 400mm e altura de 7,25m – sua idade é atribuída entre alguns séculos A.C. até 300 D.C. O desenvolvimento do processo de forjamento se deve à utilização de máquinas com capacidade de aumentar a força e a energia aplicadas ao metal no processo de conformação. No período após 1200 D.C., foram usados marteletes acionados por água (SELAU MARQUES, 2013).

Mas foi a partir da Revolução Industrial, houve uma enorme necessidade de produtos metálicos com grande resistência, por isso iniciou o maior processo de desenvolvimento de processos de fabricação mecânica da história. Até então, os processos existentes eram quase que estritamente artesanais (daí a figura popular que remete à Idade Média do ferreiro martelando numa bigorna um pedaço de metal). A partir do século XX, começou de forma concreta o estudo científico da conformação dos metais, dentro das universidades, trazendo inúmeras contribuições da sociedade, desde a criação de ligas ferro-carbono, como aço e ferro fundido, consideradas ligas mais pesadas, como ligas leves, com materiais que hoje são muito utilizados tanto para produtos de alto desempenho, como o titânio, e materiais muito comuns no dia a dia, como o alumínio. E com o desenvolvimento do estudo da matemática em conjunto e “a utilização do método de elementos finitos como técnica principal de análise de processo de deformação plástica e desenvolvimento de vários processos tecnológicos, dentre os quais se destaca, pela sua importância, o forjamento” (SELAU MARQUES, 2013).

## 4.2 Tipos de processos de forjamento modernos

Após o breve histórico mencionado, vamos estudar os processos de forjamento modernos. Como foi visto anteriormente, os processos de forjamento eram estritamente manuais, mas o processo tem o mesmo princípio: dar vários golpes de forma individual e intermitente no metal, ou como SECCO diz: “o velho martelamento ou prensagem” (SECCO; FILHO; OLIVEIRA, 2000).

Primeiramente, veremos os tipos de equipamentos de forjamento. “Existem duas classes principais de equipamentos de forjamento: os martelos e as prensas; os martelos provocam deformação do metal por impacto e as prensas submetem o metal a uma força de compressão em baixa velocidade” (FILHO et al., 2011).

A definição dos tipos de máquinas tipo martelo e prensas é a seguinte: no primeiro tipo, a máquina possui um sistema do tipo martelamento (eixo e martelo, com geometria simples), que se encarrega de dar vários golpes no metal, de forma rápida e seguida, já no segundo tipo, possui um sistema semelhante ao primeiro, mas que trabalha à baixa velocidade, numa lenta compressão. Então no primeiro, a cada martelamento temos pressão à máxima intensidade em cada golpe, sumindo rapidamente após a energia do golpe ser absorvida pela deformação do material, já no segundo, temos uma pressão gradativa sendo aplicada continuamente no material (CHIAVERINI, 1977).



Figura 1: Esquema do Forjamento por martelamento de queda (GROOVER, 2014)

Em resumo: enquanto o martelamento produz deformação principalmente nas camadas superficiais, a prensagem atinge as camadas mais profundas e a deformação resultante é mais regular do que a produzida pela ação dinâmica do martelamento (CHIAVERINI, 1977).

Dentro do forjamento por martelamento, temos três tipos de máquinas:

- **Martelo de queda livre:** Este equipamento consiste em uma base que suporta colunas, nas quais são inseridas as guias do suporte da ferramenta e o sistema para a elevação da massa cadente até a altura desejada. O mecanismo de elevação é geralmente acionado por um pedal, de maneira a deixar livres as mãos do operador para a manipulação da peça. Existe uma grande variedade de sistemas de elevação, destacando-se entre eles aquele no qual a massa cadente é elevada mediante a pressão exercida por ar comprimido em um pistão colocado no topo do martelo. Esse tipo de acionamento oferece a vantagem de maior velocidade e maior rendimento do que os sistemas com cintas ou correntes metálicas. O levantamento pode ser feito, de forma semelhante, através de cilindro hidráulico: a massa, nesse caso, tem alta velocidade de subida, devido às altas pressões imprimidas no cilindro por uma bomba de óleo (SECCO; FILHO; OLIVEIRA, 2000).



Figura 2: Máquina de forjamento por martelo de queda livre (Direct Industry, 2022)

- **Martelo de dupla ação:** Diferenciam-se dos martelos de queda livre pelo sistema de levantamento e queda da massa cadente. Neste caso a energia é fornecida não somente pelo peso da massa, causada por um acionamento pneumático ou hidráulico. Os martelos de dupla-ação são preferidos aos martelos de queda livre quando se trata do forjamento em matriz. Neste equipamento, a massa cadente é conectada a um pistão contido em um cilindro no topo do martelo. O pistão é acionado geralmente por vapor ou ar comprimido. O sistema de válvulas do cilindro pode ser controlado de modo a acelerar ou desacelerar a massa cadente na proporção desejada e, portanto, é possível variar a

intensidade de cada golpe. A força exercida pelo pistão pode chegar a vinte vezes o peso da massa cadente (SECCO; FILHO; OLIVEIRA, 2000).



Figura 3: Máquina de forjamento por martelo de dupla ação (OLIVEIRA, [s.d.])

- **Martelo de contragolpe:** Caracteriza-se por duas massas que se chocam no meio do percurso com a mesma velocidade, sendo que a massa superior é acionada por um sistema pistão-cilindro. A massa inferior, ligeiramente menor que a superior (cerca de 5%) é acoplada normalmente à superior por meio de cabos. Os martelos de contragolpe apresentam, em relação aos tipos anteriores, algumas vantagens, entre as quais se podem mencionar: maior rendimento, pois o trabalho é absorvido entre duas massas que se chocam e muito pouco dele é transmitido às fundações, resultando em menor vibração transmitida ao solo e à própria peça; e maior velocidade de acionamento, do que a correspondente de um martelo de queda livre de mesma capacidade. Possuem, entretanto, as seguintes desvantagens: maior desalinhamento entre as partes superior e inferior da matriz; necessidade da força de forjamento estar localizada no meio da matriz para evitar grandes atritos entre as massas e as guias; impossibilidade de manipulação da peça durante o movimento, pois, ao contrário do martelamento simples, onde o operador pode virar a peça durante os vários golpes do martelo, aqui ambas (massas e guias) encontram-se em movimento; e maiores despesas de manutenção (SECCO; FILHO; OLIVEIRA, 2000).

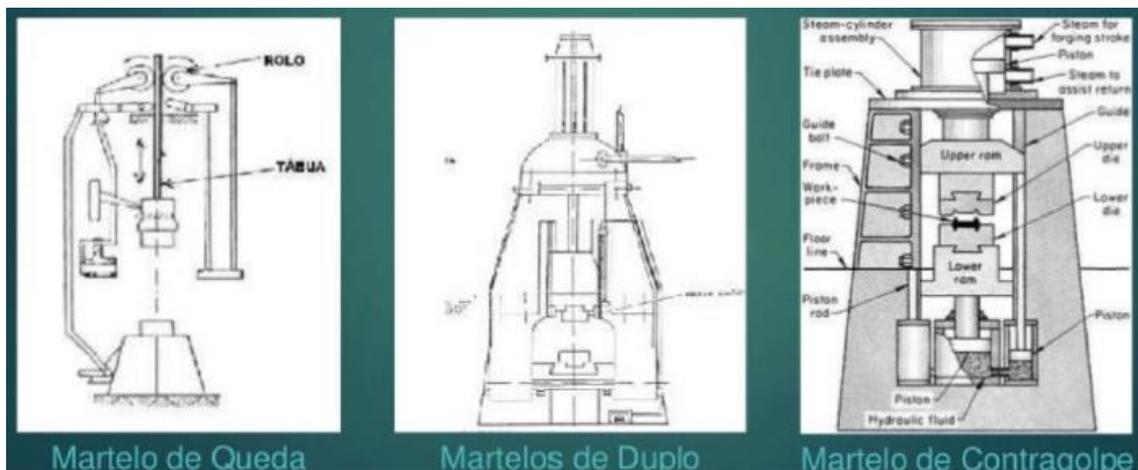


Figura 4: Comparação entre os três tipos de martelos de forjamento. (AIDA; SOUZA, 2018).

E por último, temos as **Prensas de Forjamento**. As prensas realizam uma aplicação de forma gradual de pressão, no lugar de um impacto bruto como os forjamentos por martelamento. Dentro dessas máquinas temos três tipos de prensas: **Prensas mecânicas** operam por meio de excêntricos, manivelas, ou articulações de pino, que convertem o movimento rotativo do motor propulsor em movimento de translação da massa cadente. Estes mecanismos são muito similares àqueles usados em prensas de estampagem). As prensas mecânicas atingem tipicamente forças muito elevadas no fim do golpe ou curso de forjamento. **Prensas hidráulicas** usam um pistão acionado hidraulicamente para mover a massa cadente. **Prensas de parafusos** aplicam a força por um mecanismo de parafuso que move a massa vertical. Ambos os acionamentos por parafuso e hidráulico operam em velocidades de percurso mais ou menos baixas e podem fornecer força constante ao longo de todo o curso. Estas máquinas são, portanto, apropriadas para operações de forjamento (e outros processos de conformação) que requerem um longo curso (OLIVEIRA, [s.d.]).

O processo de forjamento é dividido em duas categorias: forjamento livre, também conhecido como forjamento em matriz aberta, e forjamento em matriz fechada, ou como é mais conhecido como forjamento em matriz.

O caso mais simples de forjamento em matriz aberta envolve compressão de uma peça com seção transversal cilíndrica entre duas matrizes planas, tal como no ensaio de compressão. Esta operação de forjamento, conhecida como recalçamento ou recalque, reduz a altura da peça e aumenta seu diâmetro (GROOVER, 2014).

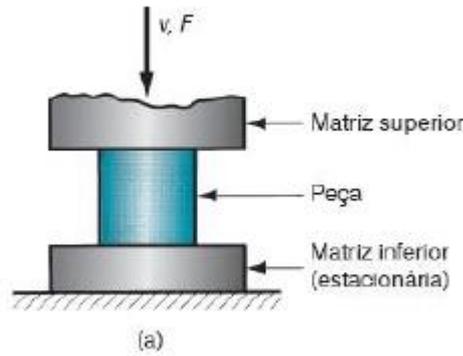


Figura 5: Forjamento em matriz aberta. Fonte: GROOVER, 2014.

Segundo GROOVER (2014), se o forjamento em matriz aberta for realizado sob condições ideais sem atrito entre a peça e as superfícies das matrizes, a deformação será homogênea, e o escoamento radial do material será uniforme ao longo da sua altura, como ilustrado na figura acima. Sob estas condições ideais, a deformação verdadeira experimentada pela peça durante o processo pode ser determinada por:

$$\varepsilon = \ln \frac{h_o}{h}$$

em que  $h_o$  é a altura inicial da peça, mm (in); e  $h$  é a altura instantânea em um dado instante do processo, mm (in). No final do curso de compressão,  $h$  é igual ao seu valor final  $h_f$ , e a deformação verdadeira atinge seu valor máximo.

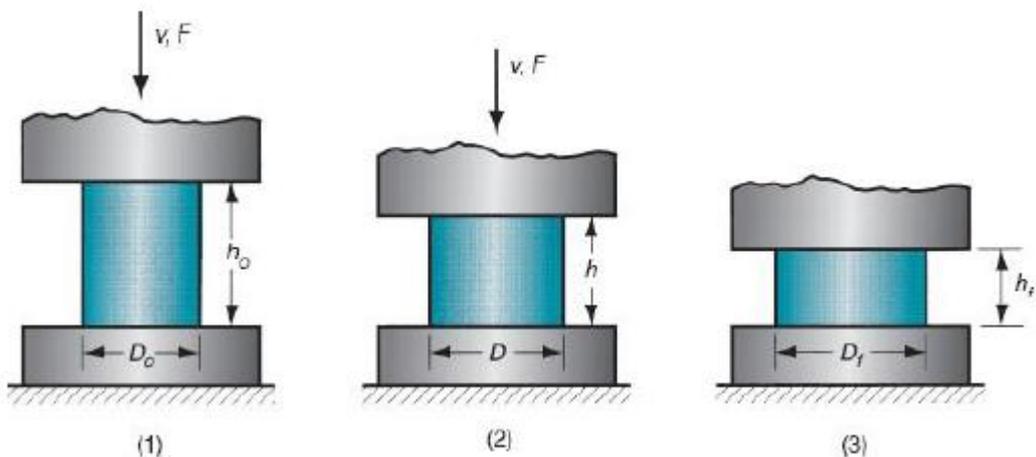


Figura 6: Deformação homogênea de uma peça cilíndrica sob condições ideais em uma operação de forjamento em matriz aberta: (1) início do processo com a peça em seus comprimento e diâmetro originais; (2) compressão parcial; e (3) tamanho. Fonte: GROOVER, 2014.

Este é um importante processo industrial. As formas geradas pelas operações de forjamento em matriz aberta são simples; eixos, discos e anéis são alguns exemplos de

peças fabricadas por esse processo. Em algumas aplicações, as matrizes possuem superfícies com contornos que auxiliam a dar forma à peça. Além disso, a peça deve ser sempre manipulada (por exemplo, rotacionada em passos) para efetuar a mudança desejada de forma. A habilidade do operador humano é fator de sucesso nestas operações. Um exemplo de forjamento em matriz aberta na indústria de aço é a conformação de um grande lingote fundido de seção quadrada em uma seção transversal circular. As operações de forjamento em matriz aberta produzem peças brutas, e operações subsequentes são necessárias para beneficiar as peças para a geometria e as dimensões finais. Uma importante contribuição do forjamento a quente em matriz aberta é que ele cria um escoamento dos grãos e uma estrutura metalúrgica do metal favoráveis (GROOVER, 2014).

Temos também o forjamento em matriz fechada, ou simplesmente forjamento em matriz. O forjamento em matriz fechada é realizado com matrizes que contêm o formato complementar à forma desejada para a peça. O processo é ilustrado em uma sequência de três estágios na Figura. A peça no estado bruto é mostrada como uma peça cilíndrica similar àquela usada na operação anterior em matriz aberta. À medida que se aproxima da configuração final, a rebarba é formada pelo metal que escoou além da cavidade da matriz em direção à pequena abertura entre os pratos das matrizes. Embora esta rebarba deva ser cortada da peça em operação subsequente de rebarbação, na verdade, ela exerce uma função importante durante o forjamento em matriz fechada. À medida que a rebarba começa a se formar na abertura da matriz, o atrito oferece resistência à continuidade do escoamento na abertura, sujeitando assim o volume do material de trabalho a permanecer na cavidade da matriz. No forjamento a quente, o escoamento do metal é ainda mais restrito, visto que a rebarba fina se resfria rapidamente contra os pratos da matriz, aumentando, portanto, sua resistência à deformação. A restrição do escoamento de metal na abertura provoca aumento significativo da pressão de compressão na peça, forçando assim o material a preencher os detalhes por vezes complexos da cavidade da matriz para assegurar um produto de alta qualidade.

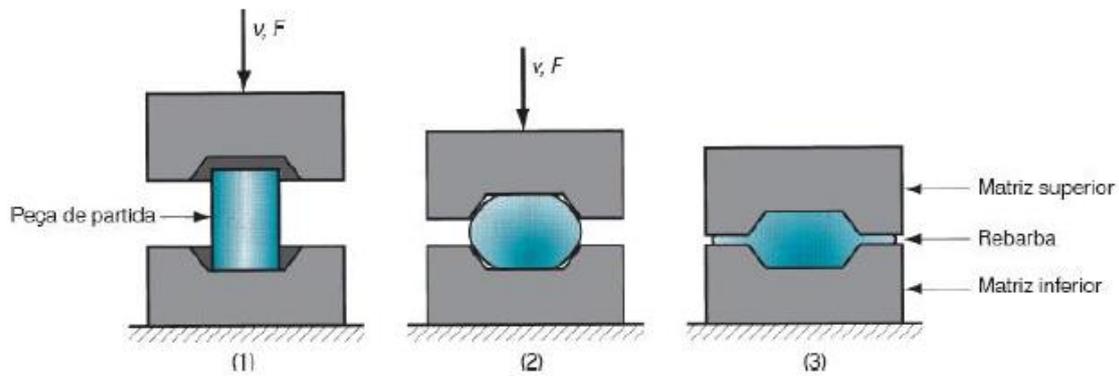


Figura 7: Sequência do forjamento em matriz fechada: (1) antes do contato inicial com a peça bruta de trabalho, (2) compressão parcial, e (3) fechamento final da matriz provocando a formação de rebarba na abertura entre os pratos das matrizes (GROOVER, 2014).

Aqui entra a grande vantagem desse tipo de forjamento: a capacidade de fabricar peças com geometria bem mais complexa do que as forjadas em matrizes abertas, com rebarba e sem rebarba também, necessitando de rebarbação posterior. Inclusive o forjamento em matriz fechada está na maioria das vezes relacionado com prensas de forjamento, principalmente com Prensas mecânicas, que geralmente possuem uma capacidade de carga bem superior aos outros tipos de prensas de forjamento, pelo fato de utilizarem o princípio de motores para movimentar o martelo da prensa. Esse fato é bastante aproveitado no forjamento em matriz fechada, que muitas vezes se utiliza de vários estágios de forjamento para dar a forma final a peça, que possui uma geometria mais complexa, tanto em forjamento a quente como a frio, como veremos a seguir.

Ainda dentro dos estudos de forjamento, temos os principais tipos de forjamento conhecidos: forjamento a quente e forjamento a frio.

- **Forjamento a quente:** Neste processo ocorre a deformação plástica, empregando o menor esforço mecânico quando comparado com o processo a frio. A estrutura do metal é refinada, melhora a tenacidade, elimina a porosidade. Entretanto, a desvantagem deste processo é: exige ferramental com boa resistência ao calor, o que pode afetar o custo da operação. Pode correr a oxidação e formação de casca de óxidos (OLIVEIRA,).

- **Forjamento a frio:** Neste processo ocorre a deformação plástica aparecendo o encruamento do material. Aumentando sua resistência mecânica, dimensões dentro de tolerâncias estreitas e melhor acabamento superficial (OLIVEIRA, [s.d.]).

### **4.3 Temperatura de forjamento**

A diferença entre as temperaturas inicial e final do forjamento é conhecida como intervalo de temperatura de forjamento. O metal para ser forjado precisa ser aquecido a uma temperatura tal que lhe confira elevada plasticidade, tanto no início como no final do processo de fabricação. Conseqüentemente, torna-se interessante aquecer o metal a altas temperaturas, pois sua forjabilidade aumenta. Os metais não ferrosos com base em ligas de cobre e de alumínio são forjados nas temperaturas entre 300 e 800 °C, e os aços nas temperaturas entre 800 e 1100 °C, dependendo das composições químicas desses materiais (FILHO et al., 2011).

Na conformação a quente, quedas de temperaturas ocorrem devido ao esfriamento da peça em contato com o ar (radiação de calor) e com a ferramenta fria (transmissão de calor). Os aços com maior teor de carbono possuem menor condutibilidade térmica, podendo, portanto, ser aquecidos a temperaturas mais baixas que os de menor teor de carbono. A perda da temperatura decorrente da transmissão de calor para a ferramenta é mais importante do que a perda da temperatura por radiação. A diferença da temperatura entre a peça e a ferramenta determina a velocidade do esfriamento: para os aços, pré-aquecendo-se a ferramenta até 300°C é possível reduzir a velocidade de esfriamento; para os metais não-ferrosos, é possível pré-aquecer as ferramentas até a temperatura de forjamento. Outros fatores que influem no esfriamento da peça por transmissão de calor são: o tempo de contato peça-ferramenta (que deve ser o menor possível) e a superfície da peça (quanto maior a superfície de contato, comparada com o volume da peça, maior será a perda de temperatura) (FILHO et al., 2011).

### **4.4 Ganhos de temperatura**

Durante a conformação ocorre também um aquecimento da peça devido à energia de deformação. Esse aquecimento é, contudo, consideravelmente menos importante do que as perdas mencionadas, não permitindo uma certa compensação. Apenas em casos excepcionais de aços altamente ligados, submetidos a elevada conformação, é possível que esse aquecimento se sobreponha ao esfriamento. Na conformação a frio, isso se modifica. Nesse caso a energia necessária provoca um aquecimento sensível da peça. aumenta com o aumento desta. O perigo do superaquecimento, no entanto, é um fator limitante para esse aumento (FILHO et al., 2011).

O aço é aquecido de 1100 a 1280°C, ou seja, a um nível de 180 a 200°C abaixo da temperatura de fusão, dependendo de sua composição, obtendo-se assim uma estrutura de grãos grossos. Durante o forjamento esses grãos são refinados, mas, se a temperatura final do forjamento for alta (acima de 900°C) os grãos poderão crescer durante o esfriamento da peça ao ar e a mesma, nesse caso, poderá ter resistência mecânica menor (FILHO et al., 2011).

Para se obter peças forjadas com boa qualidade, o processo precisa ser completado a uma temperatura definida para cada tipo de aço. O forjamento realizado a temperaturas abaixo da temperatura estabelecida (700 a 900°C) não é recomendado, porque o material fica encruado e a peça sujeita a fissuramento. O encruamento pode ser eliminado por recozimento, mas as fissuras não (FILHO et al., 2011).

#### 4.5 Outros processos de forjamento

Também existem alguns tipos de forjamento bem menos conhecidos, mas que são bem menos utilizados na indústria:

**Forjamento rotativo:** é usualmente realizado na ponta de uma peça para formar uma seção cônica. O processo de forjamento rotativo, mostrado na Figura, é realizado por meio de matrizes rotativas que martelam uma peça radialmente para dentro a fim de afunilá-la, à medida que a peça é alimentada nas matrizes. Um mandril é, às vezes, necessário para controlar a forma e tamanho do diâmetro interno de peças tubulares que são forjadas (GROOVER, 2014). As matrizes mantêm um movimento de rotação em torno do material que está estático, e assim moldam a forma dele.

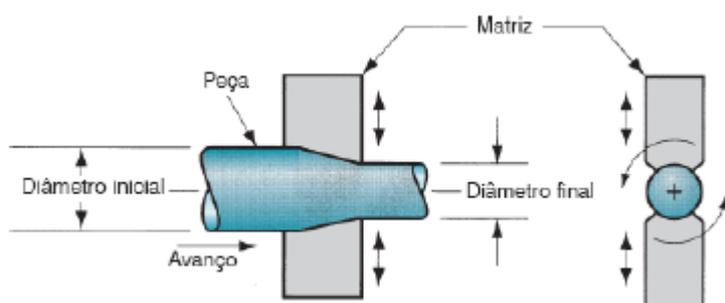


Figura 8: Representação do forjamento rotatório (GROOVER, 2014).

**Forjamento radial:** é similar ao rotatório em sua ação contra a peça e é usado para conformar peças com formas similares a este último. A diferença é que, no forjamento radial, as matrizes não giram em torno da peça; pelo contrário, a peça é

rotacionada à medida que é alimentada nas matrizes de forjamento (GROOVER, 2014)). Essencialmente é bem semelhante ao forjamento rotativo, e possui uma montagem parecida à anterior.

**Rebarbação:** É uma operação usada para remover rebarbas na peça no forjamento em matriz fechada. Na maior parte dos casos, a rebarbação é realizada por cisalhamento, como na Figura abaixo, na qual uma punção força o metal através de uma matriz de corte, as arestas de corte para as quais se têm o perfil da peça desejada. A rebarbação é usualmente realizada enquanto o metal está ainda quente, o que significa que uma prensa de rebarbação separada é incluída para cada martelo ou prensa de forjamento. Nos casos em que o metal pode ser danificado pelo processo de corte, a rebarbação pode ser feita por métodos alternativos, tais como esmerilhamento ou serragem (GROOVER, 2014)

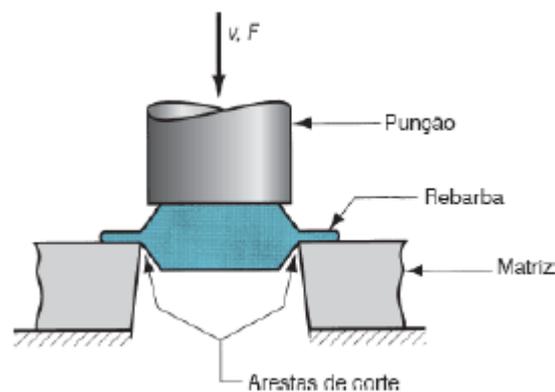


Figura 9: representação do processo de rebarbação (GROOVER, 2014)

#### 4.6 Matrizes de forjamento

No século em que vivemos, existe uma gama de materiais possíveis de serem utilizados e explorados em processos de fabricação. E quanto às matrizes de forjamento, existem muitos tipos de aço ferramenta empregados em processos de forjamento, mas alguns tipos são bastante conhecidos devido possuírem as propriedades que o processo exige em suas ferramentas. “Dentre as várias propriedades dos aços ferramenta, a tenacidade e a resistência a quente são as mais importantes, relacionadas à maioria das análises de falha observadas no presente trabalho. Apesar de serem propriedades conhecidas como ‘do aço ferramenta’, a tenacidade e a resistência a quente são

consideravelmente influenciadas pelas condições de uso e tratamento térmico das ferramentas” (MESQUITA; HADDAD, 2009). Sem essas duas características, o aço ferramenta perde total valor em aplicabilidade no processo de forjamento, pois elas garantem a durabilidade e vida útil da matriz.

“O aquecimento em trabalho mostra efeito importante para a vida útil de muitas ferramentas de forjamento a quente. Em algumas dessas situações, o emprego de aços de superior resistência ao revenido pode promover melhorias de vida útil. Em outras, a mudança de processo é necessária, para reduzir o aquecimento das regiões de trabalho. Falhas também podem ocorrer por menor tenacidade, promovida por alterações microestruturais durante o uso ou tratamento térmico da ferramenta. Nestes casos, a análise dos fatores causadores é essencial para melhoria da tenacidade e aumento da vida útil” (MESQUITA; HADDAD, 2009).

Por fim, temos os sistemas de lubrificação de matrizes de forjamento. Esses sistemas existem por conta do conceito físico de Atrito, que causa desgaste de materiais que estão em constante contato. No caso dos processos de forjamento, principalmente no que diz respeito ao forjamento à quente, temos essa questão como um ponto de grande atenção e necessidade do processo, pois os efeitos do atrito que podem, de certa forma, serem considerados como “negativos” são potencializados quando pensamos que a grandeza temperatura está envolvida no processo de forjamento.

Sabemos que o forjamento se utiliza de vários princípios da Física para ser aplicado em processos industriais, e o conceito do Atrito é importante no processo, pois sem esse princípio, a base do conceito do processo, que é conferir forma ao material utilizando golpes, não seria possível, visto que para conferir a forma, existe a necessidade de existir o atrito que auxilia a deixar essa “marca impressa” no material. Segundo Böesch (BÖESCH, 2011), é difícil medir o atrito, apesar de existirem muitos testes para este fim. Além disso, poucos testes são adequados para aplicações de conformação de metal a quente.

Porém o excesso de atrito significa desgaste em matrizes, que significa baixo rendimento da ferramenta no processo. Por isso existe a necessidade de existe um sistema de arrefecimento da superfície das matrizes, para facilitar o contato entre as mesmas e o produto e diminuir o atrito e aquecimento gerados tanto pelo contato do processo entre matrizes e peça à temperatura ambiente (forjamento à frio) quanto a peças em alta temperatura (forjamento à quente).

Os sistemas de lubrificação geralmente fazem parte do conjunto do equipamento (no forjamento por prensas ou prensagem) que podem ser tanto hidráulicos como

pneumáticos, variando de acordo com a necessidade do processo. Nos processos de forjamento à quente de peças menores é bastante comum a utilização de sistemas pneumáticos acoplados ao equipamento para a realização dessa tarefa, porém nos sistemas de forjamento à frio é muito comum a utilização de fluidos hidráulicos bastante semelhantes aos óleos refrigerantes dos processos de usinagem para lubrificação das matrizes desses processos.

Os lubrificantes para matrizes são feitos basicamente de dois materiais:

- **Lubrificante à base de grafite:** basicamente utilizado junto com sistemas pneumáticos pela capacidade de pulverização do material, utilizado em peças com geometrias mais complexas;

- **Lubrificante sintético:** feito à base de poliamida, geralmente utilizado na forma líquida, bastante utilizado em processos de forjamento de peças mais simples.

Porém os lubrificantes à base de grafite são muito mais utilizados. Em alguns testes por um grupo de pesquisadores, eles observaram que o lubrificante de grafite tinha um rendimento melhor que o lubrificante de poliamida: “O lubrificante de grafite foi à melhor alternativa para redução de atrito em forjamento a quente, devido à sua estabilidade em alta temperatura e elevados níveis de deformação mantendo o coeficiente de atrito  $\mu \approx 0,2$ . O lubrificante sintético a base de poliamida apresentou desempenho inferior ao lubrificante a base de grafite devido a degradação do mesmo, pois com médias deformação apresentou coeficiente de  $\mu = 0,4$  melhorando seu efeito de lubricidade com alta deformação atingindo  $\mu \approx 0,3$ . O coeficiente de atrito do corpo de prova sem lubrificação atingiu o máximo valor da escala ficando  $\mu = 0,57$ . Isto denota a necessidade do uso de lubrificação no processo de forjamento a quente para a obtenção de peças de alta qualidade e redução de custo” (FABIANO BUENO et al., 2011).

O grafite tem uma propriedade relacionada a pulverização que consegue fazer uma cobertura superficial das matrizes muito eficiente, principalmente no processo de forjamento à quente, o que realmente ajuda a manter a durabilidade das matrizes e seu rendimento.

#### **4.7 Defeitos dos materiais forjados**

Apesar de suas vantagens, o processo de forjamento possui alguns defeitos conhecidos e até recorrentes, que são:

Podem ser mencionados os seguintes defeitos típicos de peças forjadas, decorrentes de falhas na matéria-prima ou da técnica de operação; falta de redução, trincas

superficiais, trincas nas rebarbas, trincas internas, gotas, incrustações de óxidos, queimas e descarbonetação (FILHO et al., 2011).

- **Falta de redução:** caracteriza-se pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta. Isso altera o formato da peça e acontece quando são usados golpes rápidos e leves do martelo.

- **Trincas superficiais:** causadas por trabalho excessivo na periferia da peça em temperatura baixa, ou por alguma fragilidade a quente.

- **Trincas nas rebarbas:** causadas pela presença de impurezas nos metais ou porque as rebarbas são pequenas. Elas se iniciam nas rebarbas e podem penetrar na peça durante a operação de rebarbação.

- **Trincas internas:** originam-se no interior da peça, como consequência de tensões originadas por grandes deformações.

- **Gotas frias:** são descontinuidades originadas pela dobra de superfícies, sem a ocorrência de soldagem. Elas são causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas, colocação inadequada do material na matriz.

- **Incrustações de óxidos:** causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento. Essas incrustações normalmente se desprendem, mas, ocasionalmente, podem ficar presas nas peças.

- **Descarbonetação:** caracteriza-se pela perda de carbono na superfície do aço, causada pelo aquecimento do metal.

- **Queima:** gases oxidantes penetram nos limites dos contornos dos grãos, formando películas de óxidos. Ela é causada pelo aquecimento próximo ao ponto de fusão. (SECCO; FILHO; OLIVEIRA, 2000).

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Definição da empresa

Este trabalho foi desenvolvido em uma empresa que fornece peças para o Polo de Duas rodas, instalada na Zona Franca de Manaus, situada no Distrito Industrial 2. Algumas das peças que ela fornece são componentes para motores.

### 5.2 Produto

A peça que está envolvida com este projeto é a peça denominada ABC) faz parte do conjunto do guidão da moto, e é responsável pela fixação da suspensão dianteira da moto e nela é encaixada a coluna de direção e o seu conjunto de amortecimento, alinhando-os, faz o direcionamento e controle da pilotagem, e limita o giro do guidão.



Figura 10: Exemplo da peça ABC (ROMEU; BREIER; CATEN, 2013)

### 5.3 Etapas do trabalho

A partir de resultado de índices de sucata será feita uma análise com algumas ferramentas da qualidade para detectar as causas que levaram a esse resultado, identificando os problemas que geram os principais defeitos de forja conhecidos e assim tomar ações para diminuir ou minimizar a quantidade de peças com esses defeitos.

Para entender as causas dos índices, é necessária uma análise dentro de itens considerados chaves de sistemas do processo, para identificar anomalias ou problemas que podem interferir no resultado da peça a ser fabricada, ou gerar níveis altos do defeito em particular. Nesse ponto em particular, é muito importante a colaboração dos

operadores envolvidos no processo, por entenderem bem o processo, e como lidam com ele diariamente, têm muito a acrescentar ao estudo e podem indicar de forma mais imediata os principais pontos problemáticos do processo, por isso, suas opiniões serão muito importantes no desenvolvimento desse trabalho.

Após todos os estudos, serão definidos os pontos de trabalho dentro desse processo, serão propostas as melhorias mais cabíveis ao processo.

#### 5.4 Projeto para redução do índice de sucata

Esse trabalho apresentará um projeto para melhoria do processo de lubrificação de matrizes do processo de forjamento da peça ABC. Será analisado a capacidade do sistema, verificadas as suas necessidades e serão tomadas ações específicas para redução das deficiências do sistema, e principalmente os índices de sucata com problemas relacionados ao processo, analisando a condição anterior à aplicação das melhorias, considerando os períodos dos meses de abril à agosto de 2021 e comparando-os com o mesmo período já no ano de 2022.

#### 5.5 Descrição do processo

O processo avaliado é o processo de fabricação da peça ABC. O processo utiliza o processo de conformação mecânica conhecido como **Forjamento à quente**, em processo de conformação em **Matriz aberta**.

Abaixo temos um pequeno fluxograma que demonstra como funciona o processo de fabricação da peça estudada:



Figura 11: fluxo do processo de fabricação da peça estudada (Fonte: Próprio autor, 2022)

O ponto do estudo é durante o processo de forjamento da peça, onde têm-se alguns sistemas utilizados durante o processo de forjamento que auxiliam em itens críticos para a fabricação da peça.

## **5.6 Procedimentos metodológicos**

Como metodologia de análise de dados serão utilizadas algumas ferramentas da qualidade:

- Análise QCDMSE;
- Diagrama de Ishikawa (Diagrama Espinha de peixe);
- Análise 5 Por quês.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 Definição do problema

Durante o fechamento do FY2021 (Abril 2021 a Março 2022), foram divulgados para os setores da empresa os dados relacionados aos resultados da empresa, e foram divulgados dados setoriais individuais de sucata. E em relação ao período anterior, o setor de Forjaria da peça ABC trouxe dados bem preocupantes em relação aos outros setores de Forjaria da empresa, como será demonstrado no gráfico abaixo:

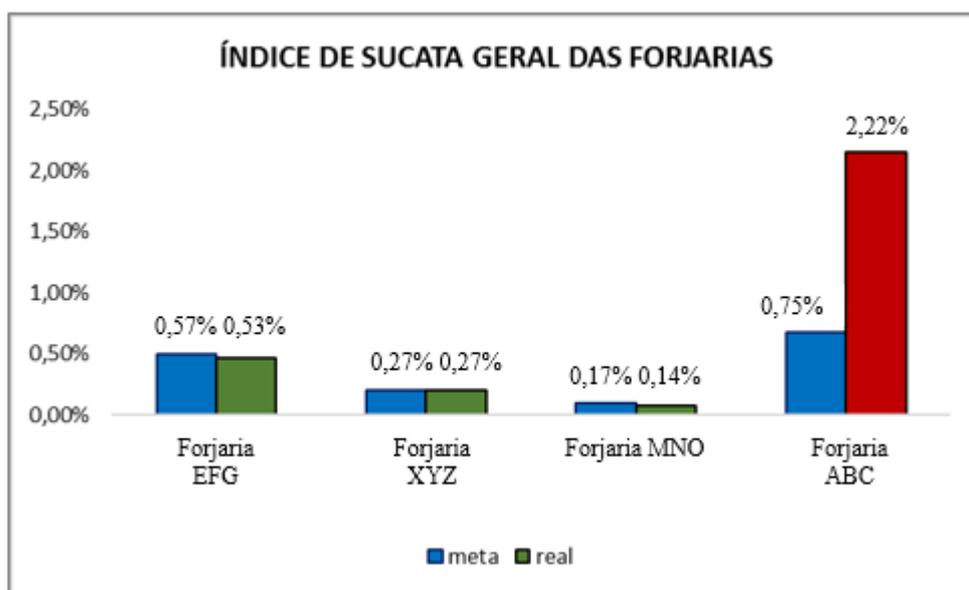


Figura 12: índice de sucata das forjarias da empresa. (Fonte: Próprio autor, 2022)

Utilizando a ferramenta QCDMSE, definiu-se o status dos indicadores setoriais, e foram avaliados quais deles estavam como OK (dentro das metas estabelecidas) ou NG (fora das metas estabelecidas, e chegou-se ao seguinte resultado:



Figura 13: Análise QCDMSE do setor Forjaria ABC (Fonte: Próprio autor, 2022)

Primeiramente, foi feito um levantamento de dados para comparar a situação do período de abril a agosto do ano FY2020 com o ano FY2021, e constatou-se um leve aumento no índice de sucatas que já era alarmante:

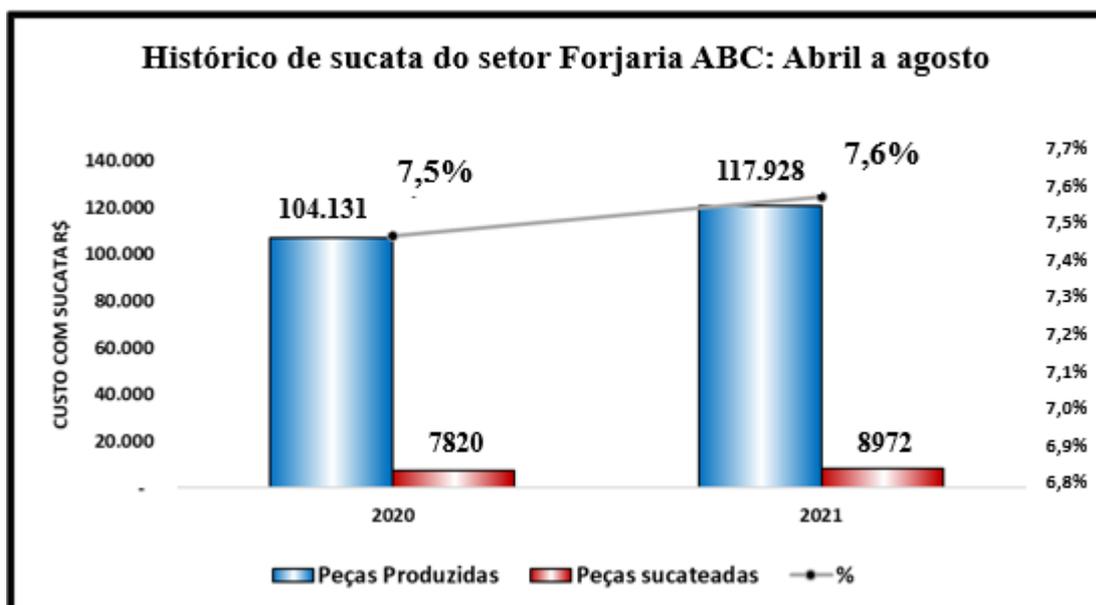


Figura 14: Levantamento do histórico de sucata do setor forjaria ABC (Fonte: Próprio autor, 2022)

Inicialmente analisou-se a lista de sucata do FY2021, no período de abril a agosto, do setor de forjaria, utilizando a classificação XYZ, em que se analisou, dentro dos índices os defeitos que mais representavam em % de sucata, tendo como base os

dados de lançamentos de sucatas o sistema interno da empresa. Desta análise, identificou-se que a peça ABC, com índice de sucata em FY2021 de 2,22%, representava um custo altíssimo no quesito financeiro. A peça e processos escolhidos para realização do estudo faz parte do conjunto do garfo dianteiro da moto, e na empresa o fluxo não contempla operações de usinagem, como fresamento, desbaste ou furação. A peça é fornecida ao cliente no seu estado “bruto”, isto é, sem acabamentos de usinagem:

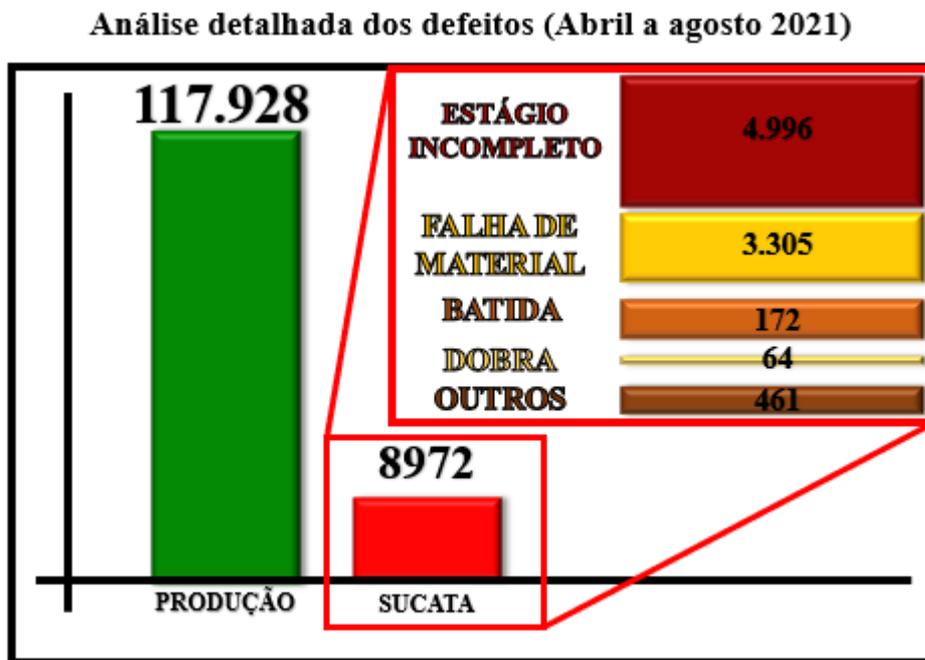


Figura 15: Detalhamento dos defeitos das peças ABC setor forjaria ABC (Fonte: Próprio autor, 2022)

Considerando os quatro principais problemas encontrados como mais recorrentes, foi disponibilizado para os operadores do setor esses dados. O objetivo da disponibilidade desses dados era que os próprios analisassem esses dados e, dentro dos principais defeitos encontrados, mapear no processo os pontos que eram determinantes para a ocorrência desses defeitos, e partir daí, reportar à supervisão setorial e ao grupo técnico formado onde deveriam atuar para melhorar o índice dos defeitos.

Enquanto parte do grupo técnico e os colaboradores estavam mapeando, outra parte do grupo realizava análises utilizando ferramentas da qualidade para detalhamento dos problemas levantados pela primeira equipe, e chegaram em algumas conclusões utilizando o Análise 5M's, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, ou Espinha de peixe:



Figura 16: Diagrama de Ishikawa sobre o tema (Fonte: Próprio autor, 2022)

Juntamente com essa análise via diagrama de Ishikawa, foi realizada também a análise via 5 Por quês, para melhor definição da causa raiz dos problemas para aumento do índice de sucata do processo do setor de forjaria ABC, para assim poder, com esses dados, elaborar plano de ação para o problema:

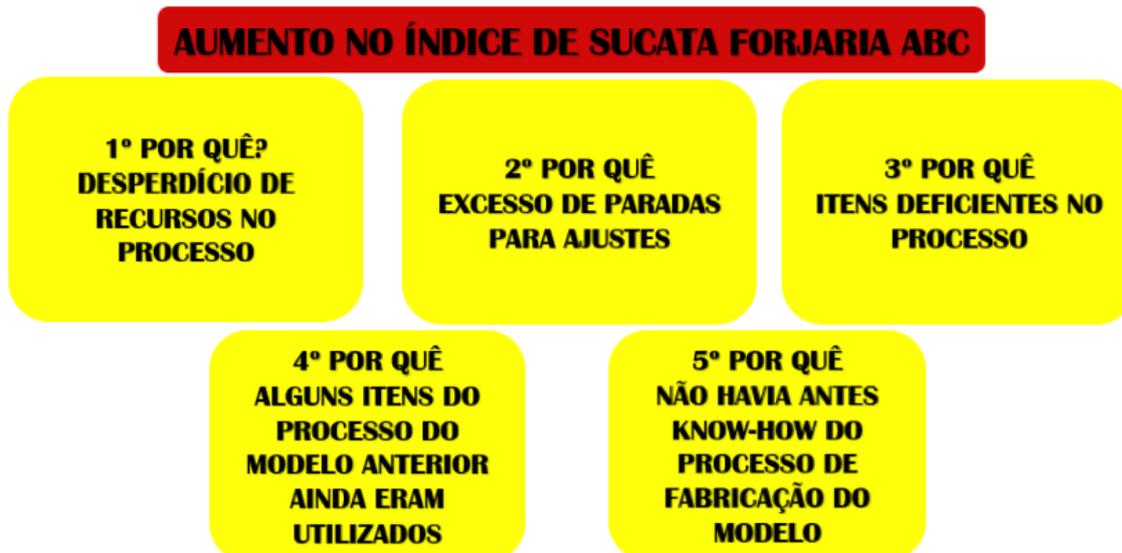


Figura 17: Análise via 5 Por quês (Fonte: Próprio autor)

Feito isso, foram identificados os principais defeitos, suas principais implicações, custos, e representação deles no índice geral de sucata do setor. Para o problema Estágio Incompleto, foi definido que a causa era principal era **paradas para ajustes de garras de transferência das peças entre os estágios de forjamento e para ajustes do sistema de lubrificação das matrizes de forjamento**. Para o problema Falha de material, foram

apontados como problema o **Sistema de Lubrificação das matrizes de forjamento** em si, com pontos que precisavam ser melhorados como: **quedas de pressão constantes durante o processo e obstrução do sistema pneumático com água**. Para o problema Dobra de forja, foram identificados **erros no posicionamento das peças nas matrizes de forjamento**, e para o problema Peças Batidas foi identificado que peças ficavam presas na entrada do forno de normalização do processo.

## 6.2 Brainstorming

Com auxílio dos operadores do processo foram analisadas as causas, e a partir delas, foram apresentadas muitas ideias com ações para reduzir os problemas. Foi determinante a participação dos operadores de todos os turnos e mesmo os operadores que não estavam mais no processo, mas o conheciam e contribuíram com suas propostas para o melhor andamento desse trabalho.

## 6.3 Implantação das melhorias

Havendo a análise das propostas e suas ações, foram definidas ações e melhorias, a aplicação delas, e definidas pessoas para realizar os monitoramentos de todos os itens listados no cronograma abaixo:

CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE MELHORIAS PARA REDUÇÃO DE SUCATA FORJARIA ABC																							
PRINCIPAIS PROBLEMAS	ATIVIDADES	STATUS	2021												2022								
			abr/21	mai/21	jun/21	jul/21	ago/21	set/21	out/21	nov/21	dez/21	jan/22	fev/22	mar/22	abr/22	mai/22	jun/22	jul/22	ago/22	set/22			
ESTÁGIO INCOMPLETO	Multiplicação do conhecimento do operador especialista do processo	PLANO																					
	REAL																						
	Controle de lançamentos de sucata no sistema SAP	PLANO																					
	REAL																						
FALHA DE MATERIAL	Melhoria no sistema de desmoldante	PLANO																					
	REAL																						
	Instalação do novo filtro de água	PLANO																					
	REAL																						
DOBRA DE FORJA	Aumento do comprimento das garras do 2º, 3º estágio	PLANO																					
	REAL																						
PEÇAS BATIDAS	Modificação do sistema de entrada de peças no forno	PLANO																					
	REAL																						
	Alongamento da rampa de saída de peças do FO1501M	PLANO																					
	REAL																						
LEGENDA			PROGRAMADO	△	REALIZADO	▲	CANCELADO															✘	

Figura 18: Cronograma para implantação de melhorias (Fonte: Próprio Autor, 2022)

## 7. IMPLANTAÇÃO DAS MELHORIAS

### 7.1 Solução para Estágio Incompleto

A proposta para redução do defeito Estágio Incompleto é o Treinamento. Foi constatado que alguns operadores do processo necessitavam de instrução sobre ajustes gerais do processo. Então foi feito proposto que fosse realizado um treinamento aos operadores que necessitavam de conhecimento sobre esses ajustes.

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Aumento da quantidade de estágio incompleto</b>	<b>Aumento do custo com sucata</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Os operadores estavam com dificuldade em realizar ajustes</b>	<b>A processo de ajuste não afeta a segurança operacional</b>	<b>Desperdício de matéria-prima</b>

Figura 19: Análise via QCMDSE da situação antes do treinamento (Fonte: Próprio Autor, 2022)

Então foi escolhido o operador especialista do processo, Helivandro, para realizar um treinamento com seus colegas sobre o seu conhecimento adquirido. Ele já era operador do processo desde 2014, e tinha um grande conhecimento acumulado.

Após o treinamento, foi constatada uma melhoria no tempo para ajustes no processo, menos tempo, e redução de sucata. Os colaboradores conseguiram melhorar o aproveitamento de tempo, e reduzir índice de sucata.

### 7.2 Solução para Falha de material

Dentro do defeito Falha de material, houve duas ações implementadas:

- **Sistema de Lubrificação das matrizes (Posicionamento do sistema):** Houve um benchmarking a nível de supervisão com uma outra empresa do mesmo grupo, no estado de Pernambuco. Foi constatado um posicionamento do sistema que favorecia a posição das mangueiras do sistema de desmoldante (lubrificação das matrizes). A principal causa para falhas na injeção do desmoldante para lubrificar as matrizes eram as quedas de pressão. As mangueiras percorriam uma distância de cerca de 15m de

mangueiras até a chegada na máquina. Daí aconteciam as quedas de pressão constantes no sistema.

A ação que foi tomada foi o novo posicionamento do sistema de desmoldante, na parte de trás da prensa de forjamento. A partir daí, foi possível promover uma nova configuração da posição das mangueiras, unificando sua saída do sistema e entrada na prensa, reduzindo o comprimento deles para cerca de 6m, reduzindo significativamente as quedas de pressão durante o processo de forjamento.

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Quantidade elevada de peças com falha de material</b>	<b>Custo alto com falha de material</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Os operadores encontravam-se treinados</b>	<b>O processo tem seu risco mapeado, colaboradores usam os EPI's</b>	<b>Desperdício de matéria-prima</b>

Figura 20: Análise via QCMDSE da situação antes da implantação das melhorias no sistema de lubrificação de matrizes e na rede pneumática (Fonte: Próprio Autor, 2022)

- **Sistema de secagem da rede pneumática (Sistema de lubrificação de matrizes):** Outra ação que foi tomada para falha de material foram as alterações da rede pneumática. Havia uma tubulação anterior, adaptada para um outro produto de forjamento menor, que possuía o diâmetro de 1', e um filtro de secagem de ar de menor capacidade. Isso resultava em obstruções constantes do sistema com água, pois o filtro não tinha capacidade suficiente para atender a produção dessa peça ABC. Foi proposta duas alterações, substituir o filtro de água por um de maior capacidade, e troca das tubulações de 1' para 2'. Com essas ações, conseguiu-se uma melhor capacidade de secagem de água, reduzindo drasticamente as obstruções do sistema com água.

### 7.3 Solução para Dobra de forja

Durante o processo de forjamento, estavam ocorrendo erros no posicionamento das peças, devido à ajustes de garras de transferências delas entre os estágios de forjamento. Elas precisavam de um ajuste complexo e demorado, por conta de as garras originalmente possuírem um comprimento ligeiramente menor, resultando na necessidade do operador muitas vezes inserir calços para realizar ajustes, muitas vezes durante o processo os calços soltavam.

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Peças ainda apresentando dobra de forja</b>	<b>Não houve alteração de custos adicionais</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Os operadores encontram-se treinado</b>	<b>A processo de ajuste não afeta a segurança operacional</b>	<b>Geração de sucata dentro de processo</b>

Figura 21: Análise via QCMDSE da situação com as garras anteriores (Fonte: Próprio Autor, 2022)

Foi proposto que houvesse um aumento dessas garras em cerca de 10mm, para evitar uso de calços, e facilitar os ajustes para os operadores. Com isso, obteve-se menos tempo com os ajustes, e os erros de posicionamento foram reduzidos durante o processo.

#### 7.4 Solução para peças Batidas

Para o defeito de peças batidas, o principal causador era o sistema de entrada de peças no forno de normalização. O sistema era baseado em empurradores pneumáticos individuais, que proporcionavam muitos problemas devido ao seu desgaste. Peças ficavam presas por baixo de tais empurradores. Nessa situação, o operador era obrigado a retirar a peça com o auxílio de uma barra. Nessa situação, a peça está em alta temperatura (cerca de 1150°C~1200°C), e terminava danificada superficialmente com batidas.

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Peças danificadas pelos empurradores</b>	<b>Aumento de custo com peças batidas</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Operadores precisavam retirar peças presas nos empurradores</b>	<b>Risco de acidente no processo de retirar peças presas</b>	<b>Desperdício de peças ok do processo de forjar</b>

Figura 22: Análise via QCMDSE da situação com o sistema anterior (Fonte: Próprio Autor, 2022)

Foi proposta a desativação do sistema, após inúmeras tentativas de reparos. O operador Helivandro sugeriu que instalasse uma chapa de aço SAE 1020 para condução das peças, realizasse uma manutenção na calha que estava instalada entre a esteira e os empurradores, e a esteira do torno se responsabilizava por puxar as peças. Com essa ideia,

as peças não ficaram mais presas, e reduziu drasticamente esse defeito, pois com o sistema de empurradores antigos desativado, nenhuma peça ficou mais presa na entrada.

## 8. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados desse trabalho foram primeiramente analisados via QCDMSE:

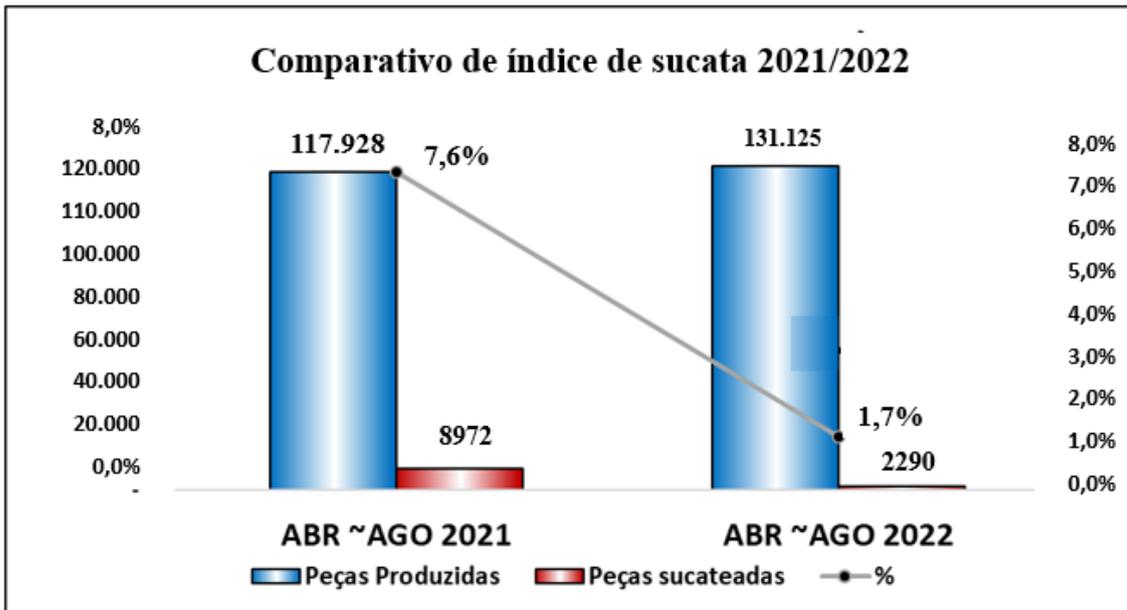


Figura 23: Resultados setoriais de sucata do setor forjaria ABC (Fonte: Próprio autor, 2022)

### Análise detalhada dos defeitos (Abril a agosto 2022)

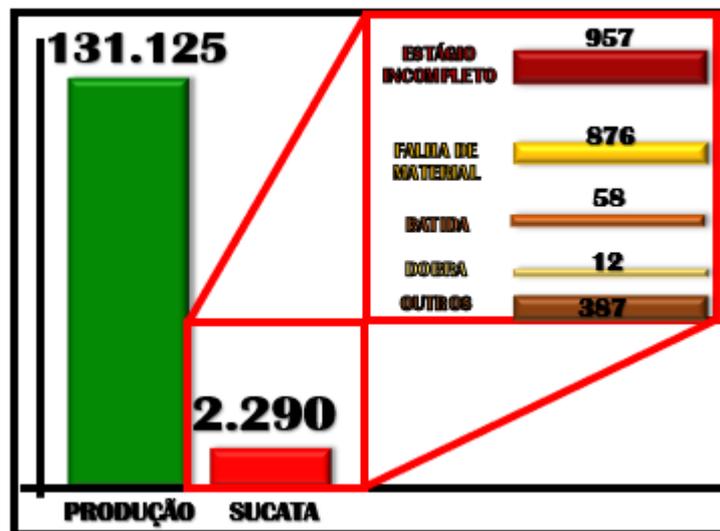


Figura 24: Detalhamento dos defeitos das peças ABC setor forjaria ABC (Fonte: Próprio autor, 2022)

Com essas ações tomadas, houve uma redução significativamente em todos os defeitos em que houve ações. Isso proporcionou uma melhoria significativamente o índice de sucata, que passou de 7,6% para 1,7%. Mesmo estando fora da meta setorial (0,75%), aconteceu uma redução bastante expressiva.

A meta inicial era uma redução de 50% no índice de sucatas, mas como veremos no gráfico a seguir, houve uma redução de 74%:

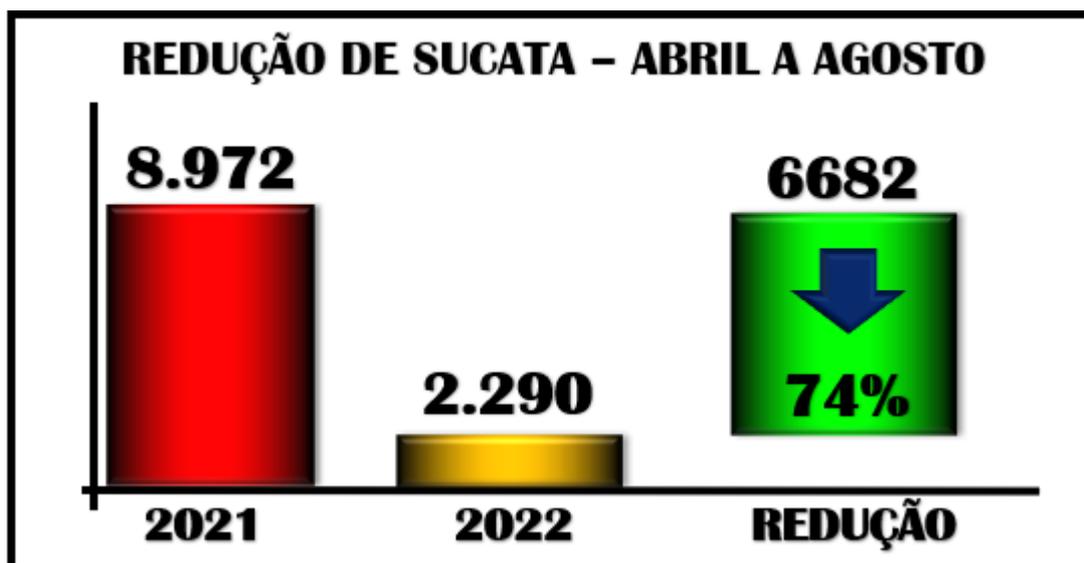


Figura 25: Demonstração da redução dos níveis de sucata (Fonte: Próprio autor, 2022)

Com esses resultados, houve um retorno no quis respeito à economia para a corporação. Mas também houve um atendimento à meta da ODS discutida no início desse trabalho, em relação à sustentabilidade, por meio de uma produção mais responsável, evitando os principais desperdícios conhecidos:

- Mão de obra;
- Energia Elétrica;
- Água;
- Insumos;
- Matéria-prima

Além disso, a equipe que fez parte do trabalho também conseguiu aprimorar várias habilidades, tanto de análises de problemas, utilização de ferramentas da qualidade, quanto princípios da Metodologia Lean. E foi realizada uma análise QCMDSE para cada um dos defeitos que foram aplicadas ações:

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
Redução de 80% quantidade de peças de estágio incompleto	Redução de quase 4.5K em quantidade de estágio incompleto	Não houve alteração com entregas ao cliente	Os operadores encontram-se treinados para realizar ajustes	A processo de ajuste não afeta a segurança operacional	Redução da quantidade de matéria-prima descartada

Figura 26: Análise via QCMDSE da situação antes do treinamento (Fonte: Próprio Autor, 2022)

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Redução de 74% no aparecimento de peças com falha de material</b>	<b>Redução de 2.4K em quantidade de com de peças com falha de material</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Os operadores encontram-se treinado</b>	<b>O processo tem seu risco mapeado, colaboradores usam os EPI's</b>	<b>Redução da quantidade de matéria-prima descartada</b>

Figura 27: Análise via QCMDSE da situação antes da melhoria para falha de material (Fonte: Próprio Autor, 2022)

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Redução de 81% no aparecimento de peças com dobra de forja</b>	<b>Não houve custos adicionais com dobra de forja</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Os operadores encontram-se treinado</b>	<b>O processo tem seu risco mapeado, colaboradores usam os EPI's</b>	<b>Redução da quantidade de matéria-prima descartada</b>

Figura 28: Análise via QCMDSE da situação antes da melhoria para dobra de forja (Fonte: Próprio Autor, 2022)

<b>Q</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
<b>Redução de 67% na quantidade de peças batidas</b>	<b>Redução no custo com scrap de peças batidas</b>	<b>Não houve alteração com entregas ao cliente</b>	<b>Operadores não precisam mais retirar peças presas na entrada do forno</b>	<b>Redução no risco de acidentes</b>	<b>Aproveitamento de peças que antes eram descartadas por batida</b>

Figura 29: Análise via QCMDSE da situação antes da melhoria para peças batidas (Fonte: Próprio Autor, 2022)

## 9. CONCLUSÕES

Diante do exposto, e retomando o que foi visto anteriormente no princípio do trabalho, o processo de forjamento é caro, e possui diversas variáveis, das quais muitas destas podem render excelentes trabalhos de melhoria e de redução de custo. Considerando o processo, vimos que é possível reduzir, e dentro do mundo moderno que possui uma necessidade cada vez mais recorrente de pensar em custo, meio-ambiente e sustentabilidade.

Este trabalho teve por objetivo conseguir algumas reduções de custo, e até o momento evitou-se de desperdiçar mais de 6.000 peças em sucata, representado uma redução de 74% em relação ao período anterior estudado, provando que é possível pensar ao mesmo tempo na economia e no compromisso com a sociedade em desenvolver processos cada vez menos agressivos ao nosso hábitat.

Além desses benefícios, com esse trabalho foram alcançados vários objetivos tanto da equipe técnica em que cooperou com a realização desse trabalho, e metas corporativas foram superadas. Foi demonstrado que com criatividade e unidade de uma equipe comprometida, é possível alcançar metas que eram consideradas quase impossíveis em realidade, e a aplicação de várias ideias da Engenharia Mecânica proporcionaram reduções reais e palpáveis no processo e desenvolvimento de equipe.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDA, D. I.; SOUZA, M. H. DE L. S. **Modelagem e projeto de um martelo de forja**. Brasília: Universidade de Brasília, 4 dez. 2018.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica Vol. II**. 2ª ed. São Paulo: Editora Mc.Graw Hill, 1977. v. 2
- FABIANO BUENO, A. et al. Comportamento do coeficiente do aço AISI 4140 em teste de compressão do anel com diferentes lubrificantes. 18 jul. 2011.
- FERNANDES FARIAS, M. **Determinação da influência de parâmetros de processo de forjamento a quente utilizando DOE (Projeto de experimentos)**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.
- FILHO, E. B. et al. **Conformação Plástica dos Metais**. 6ª ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.
- GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1º ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- HABITABILITY, R. **ODS 11: Conheça o objetivo da ONU para as cidades**.
- MESQUITA, R. A.; HADDAD, P. DE T. **Propriedades fundamentais dos aços ferramenta para matrizes de forjamento**. Porto Alegre: [s.n.].
- NAÇÕES UNIDAS, O. DAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**.
- OLIVEIRA, E. Prensas de Forjamento. [s.d.].
- OLIVEIRA, E. **Processo de Fabricação Mecânica**. Joinville, [s.d.].
- ROMARIS DUARTE, L. **Matrizes para o forjamento a quente**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 1977.
- ROMEU, N. S.; BREIER, G. P.; CATEN, C. S. O uso do Seis Sigma para redução da variabilidade no processo e aumento da qualidade do produto no processo Forjaria. **Negócios e Talentos**, jan. 2013.
- SALES, K. B. DE et al. Manual TCC IFAM. 2018.
- SECCO, A. R.; FILHO, D. DO A.; OLIVEIRA, N. C. DE. **Processos de Fabricação - Telecurso 2000**. [s.l: s.n.].
- SELAU MARQUES, A. **Estudo do forjamento de peças vazadas a partir de geratriz tubular**. Porto Alegre: [s.n.].