

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

APLICAÇÃO DO DMAIC PARA REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO COM FOCO NOS  
PISTÕES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

por

Edgar Gonçalves Londero

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Julho de 2019.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

APLICAÇÃO DO DMAIC PARA REDUÇÃO DE CUSTOS DE PRODUÇÃO COM FOCO NOS  
PISTÕES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

por

Edgar Gonçalves Londero

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Mario Roland Sobczyk Sobrinho  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Projeto, Fabricação e Automação

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez

Prof. Dr. Rafael Antônio Comparsi Laranja

Prof. Dr. Patric Daniel Neis

Porto Alegre, Julho de 2019.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Mário e Márcia, pelo esforço, carinho e dedicação proporcionando-me sempre as melhores condições para que eu conseguisse desenvolver meus estudos.

Aos meus colegas de empresa que apoiaram o desenvolvimento deste projeto.

Ao professor Arnaldo Ruben Gonzalez pelo diálogo, suporte e comprometimento com este trabalho de conclusão e orientação do meu estágio.

Finalmente, agradeço a todos que de qualquer forma contribuíram com a minha graduação e formação como Engenheiro Mecânico.

Obrigado.

LONDERO, E.G. **Aplicação do DMAIC para redução de custos de produção com foco nos pistões de injeção de alumínio**. 2019. 26 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

## **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo empregar ferramentas da qualidade associadas ao método DMAIC de gerenciamento de projetos para reduzir em pelo menos 30% o consumo de pistões de cobre utilizados na injeção de alumínio sob pressão. O método se divide em definir o problema, medir e analisar os parâmetros envolvidos neste processo, sugerir melhorias e controlar os resultados utilizando uma nova abordagem do ciclo PDCA com um enfoque maior na fase de planejamento. Foi elaborado um plano de ação de acordo com a metodologia escolhida que tornou possível determinar a melhor condição de trabalho para a ferramenta e o conjunto de injeção em geral, além da composição química que este componente deve ter para seu melhor desempenho nas máquinas injetoras superando, para o caso específico estudado, a meta estabelecida inicialmente. O resultado está apresentado na comprovação da efetividade do método adotado, reduzindo em 56% os custos com esta ferramenta.

**PALAVRAS-CHAVE:** DMAIC, Pistão de Injeção, Qualidade, Vida útil.

LONDERO, E.G. **Application of the DMAIC to reduce production costs with a focus on aluminum injection shot tips.** 2019. 26 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

## **ABSTRACT**

Aiming to apply some quality tools associated to the DMAIC method, this work focused on reducing the consumption of copper plunger tips used in the High Pressure Die Casting (HPDC) of aluminum by at least 30%, increasing its service life and providing cost reduction. The method is divided into defining the problem, measuring and analyzing the parameters involved in the process, suggesting improvements and controlling the results by using this new PDCA cycle approach that emphasis the planning stage. An action plan was developed according to the chosen methodology that made it possible to determine the best working conditions for this tool and the injection ensemble in general besides the chemical composition that this component must have for its best performance in the injection machine, for the specific case studied, the initial established goal. The result is presented in the proof of the effectiveness of the adopted method, reducing in 56% the costs with this tool.

**KEYWORDS:** DMAIC method, Plunger Tip, Quality, Useful life.

## ÍNDICE

	Pág.
1	INTRODUÇÃO .....1
2	OBJETIVOS .....1
2.1	Objetivo Geral .....1
2.2	Objetivos Específicos .....1
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....2
3.1	Processo de Fundição de Alumínio Sob Pressão .....2
3.3	O conjunto de injeção .....3
3.3	Ligas de cobre nos pistões de injeção.....4
3.4	Seis Sigma .....5
3.5	DMAIC .....5
3.6	As Ferramentas da Qualidade .....5
4	METODOLOGIA .....7
4.1	Coleta de dados .....7
4.2	Vinculando o DMAIC às ferramentas da qualidade .....7
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....7
5.1	Etapa “D” Definir .....7
5.2	Etapa “M” Medir .....9
5.3	Etapa “A” Analisar .....10
5.4	Etapa “I” Melhorar .....13
5.5	Etapa “C” Controlar .....14
6	CONCLUSÕES .....14
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....15
	Apêndice I .....16
	Apêndice II .....17
	Apêndice III .....18
	Apêndice IV .....19
	Apêndice V .....20

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um projeto em uma fabricante de cilindros a combustão, com sede em São Leopoldo, RS, filial brasileira de uma empresa familiar com matriz na Alemanha. Dentre os diversos processos envolvidos, o ZFE (Departamento de Engenharia de Processos) é responsável pela rotina da fábrica de fundição sob pressão, atuando em paradas de máquina, validando parâmetros de injeção e corrigindo defeitos oriundos deste processo nos produtos, para dar fluidez à fabricação de componentes.

Conforme definido por Fernandes, 2013, o processo de fundição sob pressão consiste no preenchimento rápido de matrizes metálicas com altas velocidades de injeção, proporcionadas pelo deslocamento mecânico de um pistão que direciona o metal líquido para o interior do molde através de um sistema de canais previamente dimensionado.

Este processo de fabricação é amplamente utilizado nas indústrias devido a possibilidade de produzir peças com geometrias complexas, com alta produtividade e elevada precisão dimensional. O alumínio é a matéria prima muitas vezes escolhida para este processo em razão das suas boas características estruturais (ductilidade, resistência à corrosão, leveza, etc.) e também por ser considerado o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre o que consequentemente significa que as ligas deste elemento possuem custos mais baixos.

Os pistões confeccionados a partir de ligas de cobre possuem um custo consideravelmente alto quando comparados as demais ferramentas utilizadas no processo de fundição, e o consumo deste componente cresce gradativamente nesta indústria ano após ano, atingindo números que chamaram atenção do departamento financeiro. Surgiu então a necessidade da elaboração de um plano de ação para reduzir os valores de gastos com este componente. Este trabalho então tem foco na baixa durabilidade dos pistões definindo como vida útil a quantidade de injeções que a peça consegue suportar até falhar por desgaste.

Para a resolução deste problema, propõe-se uma ferramenta de gestão de projetos para melhoria de processos chamada DMAIC que, segundo Holanda et al., 2013, é um método que auxilia na solução de problemas o qual engloba a metodologia Seis Sigma utilizando ferramentas estatísticas clássicas. Para garantir a eficácia do projeto, é preciso que seja implementado um método de trabalho confiável com a finalidade de não apenas chegar na solução do problema, mas também que a melhoria alcançada seja permanente. As ferramentas analíticas que podem ser utilizadas em cada etapa do método tratam da coleta, processamento e disposição de informações necessárias para a tomada de decisões e viabilização da melhoria do processo desejado.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

A partir do levantamento dos dados da produção de cilindros produzidos nos últimos anos e relacionando os valores gastos com pistões de cobre utilizados na sua produção, chega-se na média 0,055 R\$ de ferramenta para cada peça produzida ao longo do ano. Logo, definiu-se como objetivo geral do projeto aumentar a vida útil dos pistões de injeção com redução de custos com esta ferramenta para a fábrica.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Aplicar a metodologia DMAIC para atingir os objetivos traçados;
- Identificar as variáveis significativas (*condições de contorno*) que cercam o conjunto de injeção e influenciam no desempenho do pistão;
- Propor, priorizar, testar e executar as possíveis soluções para o problema;
- Determinar a melhor condição de trabalho para o conjunto de injeção na fundição;
- Reduzir em pelo menos 30% o custo com pistões por peça injetada.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Processo de Fundição de Alumínio Sob Pressão

O processo de injeção para confecção de cilindros utiliza um molde metálico permanente no qual o metal líquido é introduzido por altas pressões obtidas a partir do uso de um pistão e uma câmara de injeção. A Figura 3.1 ilustra de forma simplificada como este processo acontece.

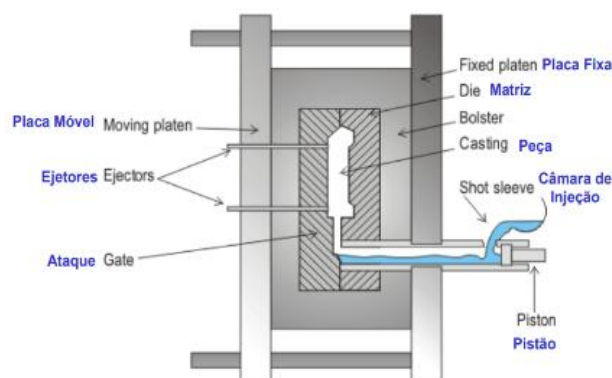


Figura 3.1 - Esquema do Processo de Fundição sob Pressão (Fischer, 2004).

De acordo com Fischer, 2004, o processo de injeção se divide em três fases: A condução do metal liquefeito até o canal de ataque com baixa velocidade e baixa pressão, o preenchimento da cavidade do molde com média pressão e alta velocidade e a compactação do material com baixa velocidade e alta pressão. Na Figura 3.2 estão dispostas as três fases de injeção e na Tabela 3.1 a síntese das três fases descritas.

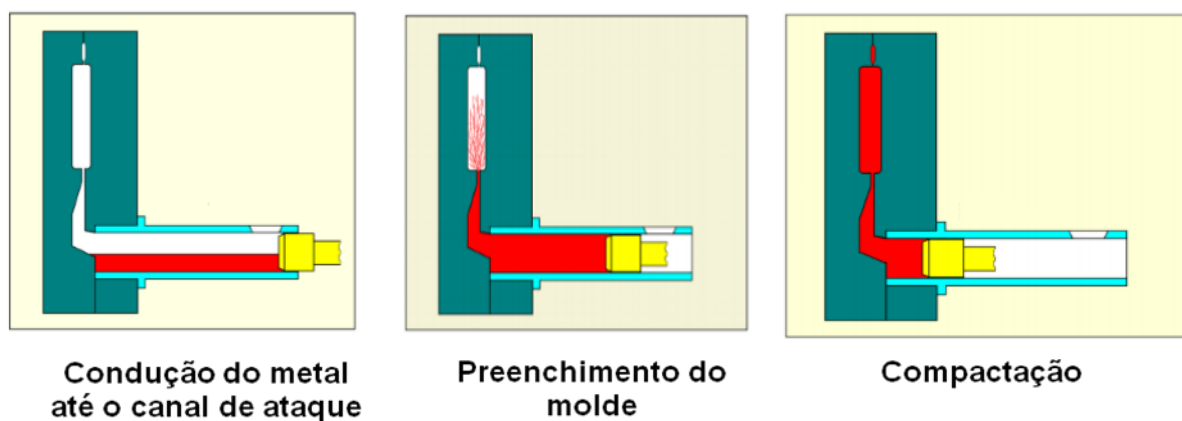


Figura 3.2 - As fases da injeção sob pressão (Fischer, 2004).

Tabela 3.1 - Controle das Fases de Injeção.

Fase	Velocidade do Pistão	Pressão	Acionamento
1ª	0,1 a 0,2 m/s	< 10 bar	Bomba
2ª	3 a 6 m/s	50 a 150 bar	Acumuladores
3ª	~0 m/s	150 a 330 bar	Acumuladores

A partir da análise das curvas de injeção é possível identificar os possíveis problemas que podem estar ocorrendo durante o processo. Estas curvas estão disponíveis no painel (IHM) das máquinas injetoras. Na Figura 3.3 estão ilustradas as curvas teóricas ideais de pressão e velocidade do processo de fundição sob pressão.



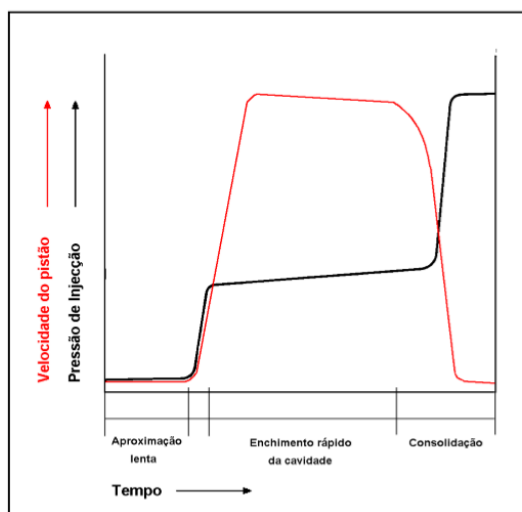


Figura 3.3 - Curvas teóricas ideais para o processo de fundição de alumínio sob pressão (Fischer, 2004).

### 3.2. O conjunto de injeção

A injeção do alumínio para o interior dos moldes é realizada através de pistões maciços de cobre ligado em diversos diâmetros que são selecionados a partir de alguns parâmetros como a força de injeção da máquina e o número de cavidades no molde. Esses diâmetros e suas respectivas roscas internas e tolerâncias podem ser visualizados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Dimensões dos pistões de cobre.

Comprimento (mm)	70
Diâmetros (mm)	54, 60, 65, 70, 75, 77, 80, 90 e 94
Roscas (mm)	30, 42 e 55
Tolerâncias (mm)	+0,00; -0,03 (todos os diâmetros)

Os pistões necessitam, para o bom desempenho neste processo, boa condutividade térmica, alto ponto de fusão e apresentar dureza suficientemente baixa para não danificar a câmara de injeção. Devido a estes requisitos, estes são confeccionados em ligas cobre que conferem estas características à ferramenta, mas possuem durabilidade limitada além de necessitarem de manutenção contínua. A Figura 3.4 estão ilustrados os elementos que juntos compõem o conjunto de injeção enquanto que nas Figuras 3.5 e 3.6 pode-se observar em detalhe a câmara e o pistão de injeção.

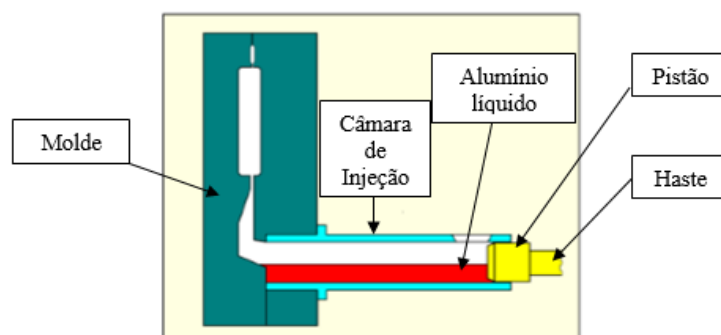


Figura 3.4 - O conjunto de injeção de alumínio sob pressão.



Figura 3.5 – Câmara de Injeção.



Figura 3.6 – Haste com Pistão de Injeção.

Os pistões devem ser continuamente arrefecidos para evitar problemas relacionados a altas temperaturas como dilatação frontal e radial que possam acelerar seu desgaste. Além disso, este componente deve trocar calor com o metal liquefeito para refrigerar e solidificar o alumínio e desta forma facilitar a extração do produto no molde, ou seja, menor pressão de extração (pressão exercida pelo pistão sobre o material solidificado para auxiliar o robô a extrair o produto fundido) resulta em menor sollicitação sob a ferramenta. Os pistões podem ser observados em detalhe na Figura 3.7.



Figura 3.7 - Pistões de cobre para injeção de alumínio sob pressão.

### 3.3. Ligas de cobre nos pistões de injeção

Conforme Cardoso e Santos, 2008, o cobre e suas ligas são o terceiro metal mais utilizado no mundo, perdendo apenas para os aços e para o alumínio e suas ligas. Suas principais características são as elevadas condutividades elétrica e térmica, boa resistência à corrosão, facilidade de fabricação (ductilidade e maleabilidade), elevada resistência mecânica e à fadiga. Existem duas composições de cobre ligado mais comuns na fabricação de pistões de injeção:

- a) *CNCS (CuNiCrSi)*: segundo Cardoso e Santos, 2008, a presença de níquel confere ao cobre maior resistência à corrosão, resistência mecânica e dureza. Esta liga é utilizada em larga escala na fundição sob pressão pelo fato de possuir os requisitos necessários aos pistões de injeção (resistência e condutividade térmica) sem danificar a câmara de injeção;
- b) *CCNB (CuCoNiBe)*: conforme Butler e Midson, 2016, as ligas de berílio-cobre possuem a melhor combinação entre alta resistência ao desgaste, boa condutividade térmica e maior dureza. A presença de berílio melhora a resistência em altas temperaturas,

porém, este percentual deve ser controlado, pois a condutividade térmica da liga diminui em teores muito elevados.

A Tabela 3.3 apresenta a composição química e valores de dureza Brinell para as duas ligas *CNCS* (*CuNiCrSi*) e *CCNB* (*CuCoNiBe*). Os dados foram extraídos da Tabela A5 apresentada no Apêndice V.

Tabela 3.3 - Composição química das ligas de cobre.

	<b>CNCS</b>	<b>CCNB</b>
<b>% Cu</b>	~ 96	~ 97,4
<b>% Co</b>	<0,0015	0,9
<b>% Ni</b>	1,8 - 3,0	~1,10
<b>% Be</b>	<0,0001	~0,50
<b>% Cr</b>	0,2 – 0,5	0,0017
<b>% Si</b>	0,4 – 0,8	0,013
<b>Dureza [HB]</b>	~215	~260
<b>Cond. Térmica [W/mK]</b>	190 - 240	230 - 250

### 3.4. Seis Sigma

Segundo Cleto e Quinteiro, 2011, Seis Sigma é um programa de melhoria de produtos e processos que surgiu na Motorola no final da década de 1980, esse modelo proporcionou ganhos elevados e prêmios de qualidade a empresa que, por consequência desses feitos, acabou estimulando várias outras a adotarem o referido programa.

De acordo com Werkema, 2013, o Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar expressivamente a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria contínua da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes e consumidores, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio.

### 3.5. DMAIC

Conforme Cleto e Quinteiro, 2011, dos métodos que compõem o Seis Sigma, o mais utilizado é o DMAIC, uma vez que é composto de cinco etapas que possibilitam uma adequada organização da implantação, desenvolvimento e conclusão da maior parte dos projetos:

- 1) *Define (Definir)*: Definir com precisão o escopo do projeto;
- 2) *Measure (Medir)*: Medir a localização ou o foco do problema;
- 3) *Analyze (Analisar)*: Analisar as causas de cada problema prioritário;
- 4) *Improve (Melhorar)*: Propor, avaliar, programar e implementar soluções para cada problema prioritário;
- 5) *Control (Controlar)*: Garantir que o alcance da meta seja mantido a longo prazo.

### 3.6. As Ferramentas da Qualidade

Existem diversas ferramentas da qualidade aplicáveis no tratamento de dados para melhorar processos realizando a gestão da qualidade total. São ferramentas utilizadas nas etapas dos ciclos PDCA ou DMAIC com o intuito de auxiliar a construção de métodos de

resolução de problemas baseados em dados e fatos de maneira que a taxa de sucesso dos planos de ação sejam aumentadas. A seguir, as ferramentas utilizadas no presente trabalho:

- a) *VOC (Voice Of Customer)*: Segundo Wekerma, 2013, a Voz do Cliente é o conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes/consumidores e suas percepções quanto aos produtos da empresa. Esses dados podem ser provenientes de reclamações, comentários e resultados de pesquisas;
- b) *5W2H*: Segundo Holanda et al., 2013, esta é uma ferramenta para organização das informações de um plano de ação, planejamento ou mesmo para apresentação de resultados. Considera todas as tarefas a serem executadas ou selecionadas de forma cuidadosa e objetiva, assegurando, sua implementação de forma organizada, buscando responder as seguintes perguntas:
  - *O quê? (What?)*;
  - *Quem? (Who?)*;
  - *Quando? (When?)*;
  - *Onde? (Where?)*;
  - *Por quê? (Why?)*;
  - *Como? (How?)*;
  - *Quanto? (How much?)*.
- c) *Estratificação*: Segundo Werkema, 2013, a estratificação consiste na observação do problema sob diferentes aspectos, isto é, no agrupamento dos dados sob diferentes pontos de vista, de modo a focalizar o problema. Fatores como equipamento, material, operador, tempo, entre outros, são categorias usuais para estratificação;
- d) *Folha de Verificação*: Segundo Werkema, 2013, a folha de verificação é um formulário no qual os itens a serem verificados para observação do problema já estão impressos, com o objetivo de facilitar a coleta e o registro dos dados. Normalmente ela é construída após a definição das categorias para a estratificação;
- e) *Amostragem*: Segundo Werkema, 2013, as técnicas de amostragem permitem que sejam coletados, de forma eficiente, dados representativos da totalidade dos elementos que constituem o universo de nosso interesse (população);
- f) *Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)*: Também chamado de espinha de peixe, é, segundo Holanda et al., 2013, uma abordagem utilizada para analisar as operações e situações típicas do processo produtivo. Seu aspecto é semelhante a uma espinha de peixe conforme mostrado na Figura 3.8, e sua utilização serve para identificar causas que influenciam os desvios dos processos.

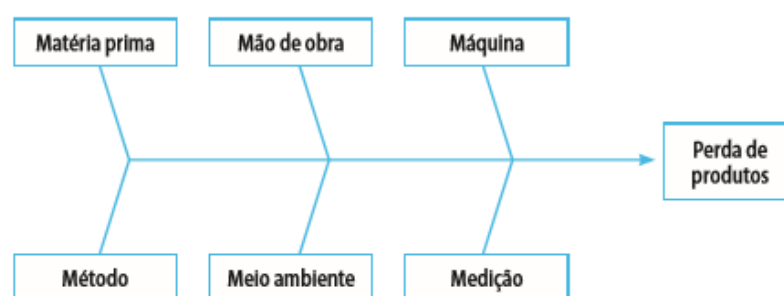


Figura 3.8 – Diagrama de Ishikawa (Holanda et al., 2013).

- g) *Plano de Controle de Processo*: Segundo Cantidio, 2019, é um documento que estabelece a informação necessária para realização do controle de qualidade contendo a técnica de avaliação, o tipo e a frequência de inspeção além do plano de correção ou reação.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu na coleta de dados somada a aplicação do método DMAIC para melhoria de processos, associado às ferramentas da qualidade e utilizar critérios técnicos para a análise e tentativa de resolução do problema.

### 4.1. Coleta de dados

Para Holanda et al., 2013, no procedimento de coleta de dados, a escolha de instrumentação e fontes de informação deve ser não apenas criteriosa, mas também deve levar em consideração algumas regras:

- a) Ser coerente com a estrutura teórico-técnica do projeto que define o tipo de olhar e a forma de enquadramento do processo em estudo;
- b) Levar em conta a disponibilidade e acessibilidade aos dados sob investigação;
- c) Levar em conta e adequar-se às características específicas dos indivíduos, da população, do ambiente ou organização sob investigação;
- d) Levar em consideração os recursos humanos, financeiros, técnicos de análise, bem como o tempo e as condições concretas disponíveis para a realização do projeto, tornando-o factível;
- e) Ser coerente com a estratégia institucional e com as questões éticas definidas no planejamento do projeto.

### 4.2. Vinculando o DMAIC às ferramentas da qualidade

As ferramentas Lean e Seis Sigma utilizadas de maneira integrada nas etapas do DMAIC servem para transformá-lo em uma metodologia sistemática baseada em dados e no uso de ferramentas estatísticas para alcançar os resultados esperados:

- a) **Etapla Definir:** sintetizar o escopo do projeto, define-se qual é o problema a ser resolvido, qual indicador será utilizado, qual a meta a ser atingida e quem é o responsável ou os responsáveis pelo trabalho. Para auxiliar o desenvolvimento nesta etapa foram utilizadas duas ferramentas: VOC e 5W2H;
- b) **Etapla Medir:** nesta etapa, é realizado o levantamento dos dados necessários e apresentado seu comportamento utilizando as ferramentas: Estratificação, Folha de Verificação e Amostragem;
- c) **Etapla Analisar:** na etapa de análise das causas do problema. É preciso entender qual o processo gerador do problema, e como as causas potenciais influenciam no mesmo. Nesta fase foi utilizada uma ferramenta para uma melhor visualização destas causas: O Diagrama de Ishikawa;
- d) **Etapla Melhorar:** na etapa de melhoria, como a ideia é programar soluções para cada problema prioritário levantado anteriormente, novamente fora utilizada a ferramenta 5W2H para elaboração de um plano de ação;
- e) **Etapla Controlar:** Na fase final do ciclo, o objetivo é encontrar uma maneira para manter os resultados e prevenir o reaparecimento do problema. As melhorias devem ser sustentadas a partir de documentos que garantam a padronização de procedimentos. Aqui foi elaborado um Plano de Controle de Processo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Etapa “D” Definir

O pistão de injeção de alumínio é fabricado em liga de cobre, material dúctil e maleável, e no processo é submetido a altas velocidades, elevado atrito (sistema deslizante) e pressão. Fatores estes que causam o desgaste da ferramenta. Além disso, a temperatura do banho

líquido por volta de 700 °C e a característica corrosiva do alumínio reduzem a vida útil da peça. Na Figura 5.1 está representada a aparência típica da ferramenta após a sua falha.



Figura 5.1 – Pistão de Cobre ao final da vida útil.

A fábrica de cilindros da empresa gasta mais de 70% da verba de ferramenta para fundição com estes pistões de injeção. O custo da produção com esta peça cresce em média 10% a cada ano devido ao aumento da produtividade. A VOC (Voz do Cliente), apresentada na Figura 5.2, ilustra os problemas observados pelos gestores responsáveis pelos custos de produção (cliente) levantando as necessidades do projeto.



Figura 5.2 – Esquema ilustrativo da Voz do Cliente.

A utilização da ferramenta 5W2H foi escolhida, neste momento, para auxiliar na solução do problema pela elaboração de um plano de atividades devido a sua simplicidade e eficácia. Desta forma foi possível montar o escopo do projeto desenvolvido. Na Tabela 5.1 estão apresentados os elementos que fizeram parte do plano.

Tabela 5.1 - Escopo do projeto.

5W2H – Escopo do Projeto	
<b>O quê?</b>	Aumentar a capacidade de trabalho dos pistões de injeção de alumínio. Aumento da vida útil da ferramenta com redução de custos.
<b>Quem?</b>	Equipe formada pela Engenharia de Processos, Fermentaria e Produção.
<b>Onde?</b>	Fábrica da fundição de cilindros.
<b>Quando?</b>	Segundo semestre de 2018.
<b>Como?</b>	Montar um plano de ação para resolução do problema, identificando e atuando nas principais causas para o desgaste precoce da ferramenta.
<b>Quanto?</b>	Reduzir em pelo menos 30% os custos com este componente economizando R\$ 135.000 em 2019.
<b>Por quê? (Definição do Problema)</b>	Os valores de consumo de pistões de injeção atingiram números elevados e evidenciaram a necessidade de alguma atitude para reduzir esse gasto.

O indicador utilizado para medição dos resultados foi o número de injetadas (tiros) que o pistão consegue suportar até que ocorra o desgaste e a necessidade de troca da ferramenta. Estes números podem ser visualizados no painel IHM (Interface Homem Máquina) das máquinas injetoras. Não existem dados históricos confiáveis, portanto foi necessário um acompanhamento prévio para levantamento dos dados nas condições atuais do processo.

## 5.2. Etapa “M” Medir

Após definir o problema, o levantamento de dados, antes de qualquer intervenção, deve ser realizado através da implementação da Folha de Verificação nas injetoras no formato de Check List para troca de pistões em máquina e construídas a partir da definição dos fatores de estratificação previamente definidos. O Check List, que está representado no Apêndice III, foi preenchido pelos operadores durante o período de medição. Os resultados obtidos foram utilizados como amostra representativa para o projeto. Para que os números levantados fossem confiáveis, teve-se que realizar um acompanhamento diário pela equipe de projeto para que nenhum dado fosse perdido, ou seja, nenhum setup (troca da ferramenta) realizado sem o preenchimento da Folha de Verificação.

A média de vida útil, ou seja, o número de injetadas (tiros) que um pistão pode atingir antes de falhar por desgaste e ocorrer o vazamento de alumínio, foi estratificada para obter dados de média de tiros em geral, média de tiros por máquina e média de tiros por diâmetro de pistão ( $\phi$  - mm), para observar a influência destes parâmetros no desempenho da ferramenta. Os dados foram estratificados para 7 máquinas injetoras da fábrica e para 4 modelos de pistão e os resultados podem ser visualizados nas Figuras 5.3 e 5.4.

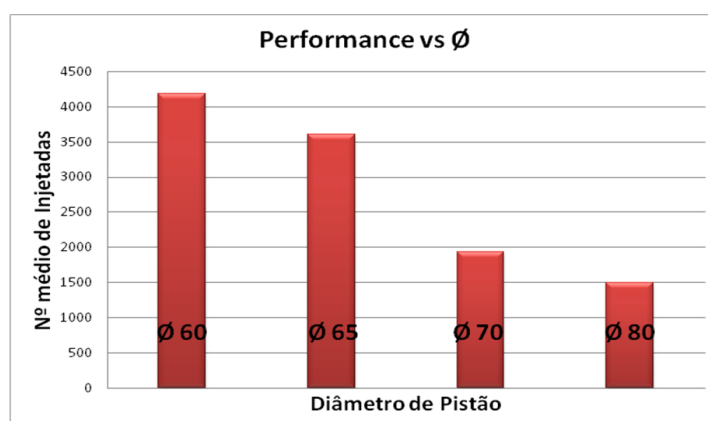


Figura 5.3 – Vida útil por diâmetro de pistão.

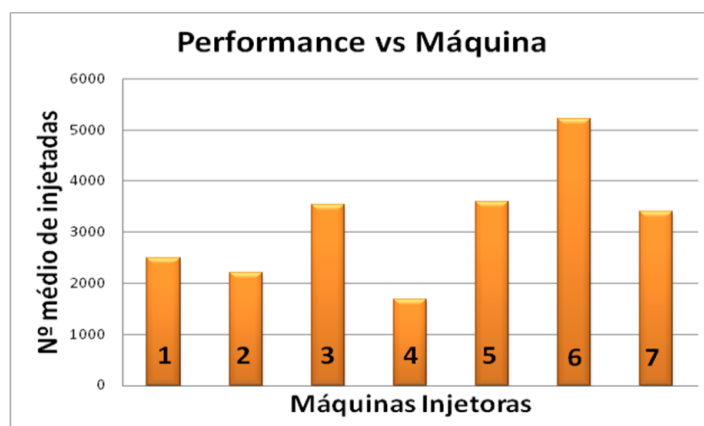


Figura 5.4 – Vida útil por máquina injetora.

Pela análise do comportamento dos dados estratificados, foi possível verificar uma tendência de maior vida útil quanto menor o diâmetro de pistão. Além disso, percebeu-se que a falta de padronização das máquinas influencia no desgaste precoce da ferramenta. A média geral ficou em 3.198 tiros por vida de pistão.

### 5.3. Etapa “A” Analisar

Durante este período de acompanhamento das máquinas, observando e avaliando o processo, pôde-se construir o diagrama de causa e efeito (Figura 5.5), ou seja, um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio de discussões sobre o problema “baixa vida útil do pistão”, e que permite analisar as condições de contorno de forma a detectar as causas que impactam mais no problema e assim propor soluções. Após isto, foi necessário planejar as ações definindo os responsáveis e o prazo para cada ação.

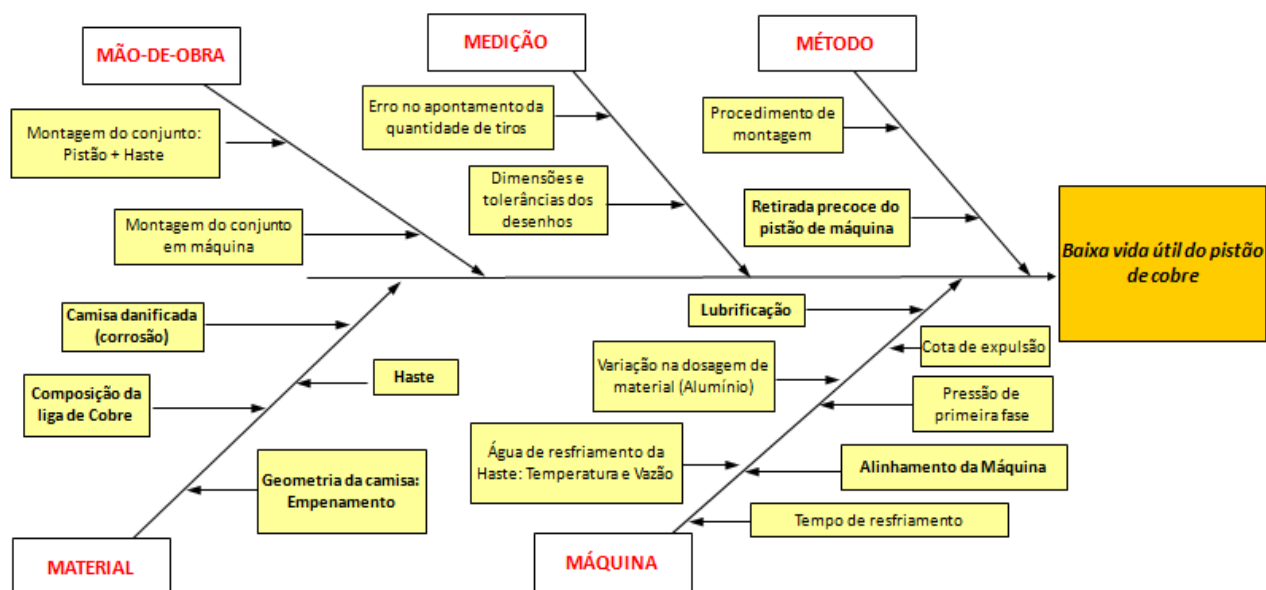


Figura 5.5 – Diagrama de Ishikawa.

A partir deste diagrama e pela avaliação da equipe na observação do processo, os principais fatores de influencia na vida útil da ferramenta foram estimados:

- Alinhamento da máquina;
- Qualidade da câmara de injeção: corrosão e amassamentos;
- Geometria da câmara de injeção;
- Lubrificação do pistão: tempo e posição de dosagem;
- Haste: empenamentos e geometria;
- Composição química de liga de Cobre;
- Troca da ferramenta antes do final de sua vida útil (resolvido com a implementação da Carta de Verificação).

#### Análise dos fatores:

- 1) **A câmara de Injeção:** Qualquer desalinhamento no conjunto de injeção (haste ou bucha) ou na máquina gera, por ser um sistema deslizante, desgaste precoce por atrito. Da mesma forma, uma câmara com qualidade superficial comprometida, ou seja, erosão na superfície interna pode comprometer rapidamente a vida útil do pistão. O banho de alumínio líquido corrói a superfície de dosagem de material na bucha por ser a primeira região a entrar em contato com o metal corrosivo e com temperatura mais elevada. Estas análises podem ser mais bem compreendidas a partir da observação das Figuras 5.6 e 5.7.



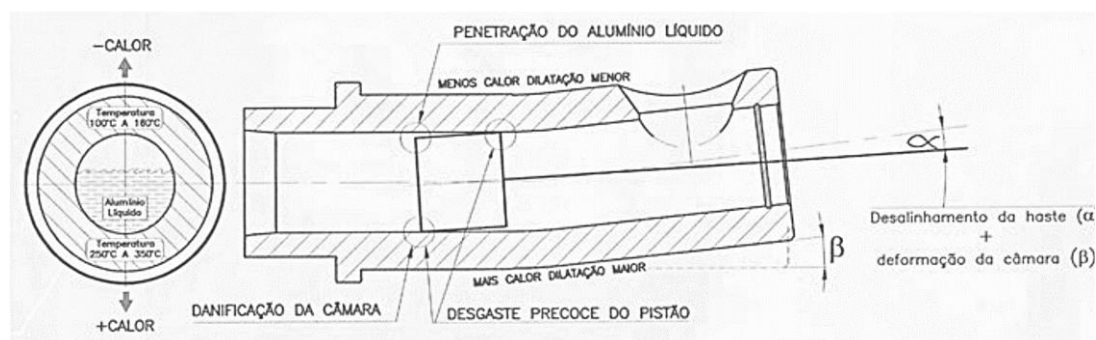


Figura 5.6 - Camisa de injeção desalinhada pela diferença de dilatação superior e inferior (Fischer, 2004).

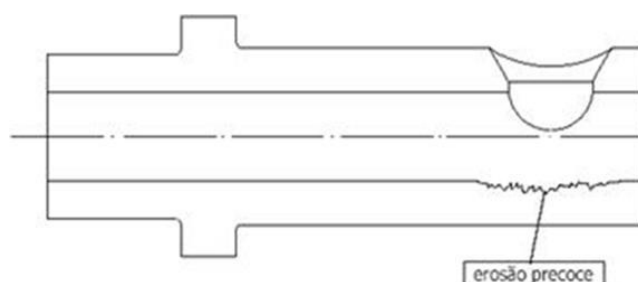


Figura 5.7 - Erosão precoce da camisa de injeção (Fischer, 2004).

- 2) **A lubrificação dos pistões:** é um processo necessário não só para reduzir a temperatura deste componente, mas principalmente para diminuir o atrito com a câmara de injeção, facilitar o deslizamento e assim providenciar um fácil preenchimento da cavidade do molde, reduzindo o consumo de energia durante a injeção e estendendo a vida útil do pistão. O óleo lubrificante é aplicado por sistema de aerossol (*Spray*) conforme mostra a Figura 5.8.



Figura 5.8 - Sistema de lubrificação por aerossol (*Spray*).

O óleo lubrificante deve ser aplicado no centro do corpo do pistão de maneira que não seja aplicado na câmara ou na haste. Também se deve programar um tempo de lubrificação para que a lubrificação não seja insuficiente ou em excesso. A quantidade de óleo deve ser suficiente para a criação de um filme sobre o corpo do pistão sem que ocorra desperdício por gotejamento.

- 3) **A liga de cobre:** a liga utilizada atualmente para a fabricação do pistão de injeção é a *CNCS* (cobre-níquel) a qual confere as características necessárias para o bom desempenho dos pistões de injeção conforme discutido no referencial teórico. Entretanto, conforme descrito por Butler e Midson, 2016, em artigo da NADCA (North American Die

Casting Association) apresentado nas referências, a liga de cobre com percentuais de berílio é citada como a melhor opção para este tipo de aplicação.

- 4) **Geometria da Haste:** A pressão da Haste sob o pistão é mal distribuída no seu formato atual. A ferramenta é constituída por material maleável e acaba deformando sua geometria visto que o suporte não é uniforme na parede do pistão conforme mostrado na Figura 5.9.



Figura 5.9 – Deformação no pistão pela distribuição não uniforme de cargas.

- 5) **Alinhamento da máquina:** A partir da variação observada no gráfico de desempenho apresentado na Figura 5.4, criou-se a necessidade da engenharia desenvolver um dispositivo para medição do alinhamento das máquinas injetoras para compreender a influência do desalinhamento no desempenho dos pistões de injeção.

Este equipamento consiste em acoplar um apontador LASER em cilindros de metal nos diâmetros das câmaras de injeção (dispositivo adaptável a qualquer diâmetro) e apontar a luz para o berço de apoio das hastes na injetora. O berço deve ser avançado e recuado para verificar se há diferença de posição na marcação do apontador LASER. Na Figura 5.10 pode-se observar o desalinhamento da Injetora 6 (máquina de melhor desempenho) medido com o uso deste dispositivo.



Figura 5.10 - Máquina 6 desalinhada.

#### 5.4. Etapa "1" Melhorar

A ferramenta 5W2H pôde ser utilizada novamente para sintetizar as ações tomadas para a melhoria do processo. A equipe optou pela realização de três testes iniciais para avaliar os resultados e posteriormente decidir os próximos passos. Os testes foram executados na máquina de melhor desempenho (Injetora 6), com pistões de Ø65 mm por serem os mais representativos (cerca de 40% do custo com esta ferramenta). Os testes foram realizados em

sequência para que as condições do processo fossem as mais parecidas dentro do possível (padrão). As soluções apresentadas não oferecem nenhum risco adicional para a saúde dos operadores e estão dispostas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Plano de Ação de melhorias.

Nº	O que? (Ação)	Por que? (Causa)	Como?	Onde?	Quem?	Quando?	Quanto?
1	Utilizar um Câmara de Injeção nova	Eliminar ou reduzir a influência da camisa no desgaste de pistão	Comprando material novo para teste	Máquina 6	Ferramentaria	Imediato	Não permitido divulgação
2	Testar 3 pistões usinados a partir da liga CuCoNiBe	Literatura indica que o desempenho é melhor quando comparado com as demais ligas	Comprando material novo para teste	Máquina 6	Engenharia	Imediato	Mesmo custo das ligas usuais
3	Realizar operação de alinhamento da máquina	Eliminar ou reduzir a influência do desalinhamento de máquina no desgaste de pistão	Procedimento usual	Máquina 6	Manutenção	Quando a máquina entrar em manutenção preventiva	Sem custos adicionais
4	Otimizar a lubrificação	A ferramenta mal lubrificada desgasta mais rápido	Definir posicionamento e quantidade de lubrificação	Sistema de lubrificação da máquina 6	Engenharia	A partir do início dos testes	Sem custos adicionais
5	Testar haste nova com geometria modificada (maior diâmetro de apoio)	Utilizar haste sem empenamentos e com apoio adequado (melhor distribuição de cargas)	Modificar projeto e comprar com fornecedor externo	Máquina 6	Engenharia	Imediato	Não permitido divulgação
6	Acompanhamento	Garantir que os pistões sejam trocados apenas no final de suas vidas e que os parâmetros de máquina estejam constantes	Supervisão diária dos testes	Máquina 6	Equipe	Durante todo o período de testes	Sem custos

No Apêndice II, estão dispostas as fotos que ilustram as melhorias realizadas: O resultado do alinhamento da máquina utilizando o mesmo dispositivo para medição, a câmara de injeção nova, o pistão fabricado a partir da nova liga proposta (CCNB) e a haste com sua geometria modificada (maior diâmetro do batente).

Ao final dos testes foram fundidas 67.436 peças, dividindo o valor das ferramentas pela produção, chega-se a um custo de 0,014 R\$ de ferramenta por peça produzida. Este número representa uma redução de custo de 74% quando comparada a média geral da fábrica e vida útil 56% maior quando comparado com a média atual desta ferramenta nesta máquina, ou seja, a meta não apenas foi atingida, mas também ultrapassada quando analisado apenas este caso específico. A tabela 5.3 apresenta os resultados dos testes realizados.

Tabela 5.3 - Resultado dos testes de melhoria.

Tetes	Resultado (Nº Tiros)
Pistão 1	10.785
Pistão 2	10.516
Pistão 3	12.417
Média dos testes	11.240
Média geral da fábrica	3.198
Média da máquina	5.212

### 5.5. Etapa “C” Controlar

Visto que os resultados alcançados nos testes foram extremamente satisfatórios, buscou-se algumas padronizações não somente para que os ganhos sejam mantidos, mas também para que possam ser replicados para as demais máquinas e diâmetros de ferramenta e assim os resultados financeiros serão percebidos a médio prazo.

Dois documentos foram implementados em fábrica para auxiliar no controle de qualidade do processo. A Carta de Verificação de troca de pistões (a mesma utilizada para levantamento dos dados na etapa de medição) para controlar o indicador de durabilidade da ferramenta e que está apresentada no Apêndice III e uma LUP (Lição de Um Ponto – ferramenta utilizada para transmitir informação de maneira simples e rápida) para correta lubrificação dos pistões que está presente no Apêndice IV.

Além destes documentos, foram adicionados a medição do alinhamento de máquina e o respectivo procedimento de correção (caso necessário) na rotina do departamento de manutenção. Estes controles para padronização do processo, bem como os responsáveis estão definidos no Plano de Controle construído e apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Plano de Controle.

Nº	Inspecção	Avaliação	Responsável	Frequência	Correção
1	Troca de pistão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivos da trocas (Desgaste?)</li> <li>• Vida útil</li> </ul>	Engenharia	Semanalmente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar os motivos de troca que não seja por desgaste da ferramenta</li> <li>• Aplicar o ciclo DMAIC para aumento da vida útil</li> </ul>
2	Lubrificação	Verificar se o processo está de acordo com o padrão estabelecido (LUP)	Produção	Diariamente	Adequar ao padrão: Quantidade de lubrificante e posição de aplicação
3	Câmara de Injeção	Análise qualitativa: corrosão e geometria	Ferramentaria	Mensalmente	Substituir o componente
4	Alinhamento de máquina	Medição do alinhamento	Manutenção	Mensalmente durante a manutenção preventiva	Realizar o procedimento padrão para deixar a máquina alinhada

## 6. CONCLUSÕES

As variáveis de influência no desgaste dos pistões de cobre foram identificadas e as propostas de melhoria puderam ser planejadas, testadas e implementadas. Dessa forma a solução do problema foi efetivada para as condições escolhidas comprovando a eficiência do método adotado.

A partir dos resultados obtidos, não se pode garantir um ganho com mesma magnitude para as demais máquinas e para as ferramentas de diâmetro diferente do avaliado neste trabalho. Porém, uma melhor condição de trabalho para o conjunto de injeção foi proposta mesmo que ainda exista potencial para melhorias seguindo o fluxo do ciclo DMAIC.

A redução de custo de 56% é maior do que a meta estabelecida de 30%, contudo, esta melhoria foi feita em apenas uma máquina. Estima-se que após a implementação do método para as demais injetoras, com uma visão conservadora, a média geral de redução deve atingir o valor estabelecido previamente.

Trabalhos Futuros: Sugere-se para trabalhos futuros não só a aplicação da mesma metodologia nas demais injetoras, mas também que as demais condições de contorno consideradas no diagrama de Ishikawa também sejam estudadas e outras melhorias possam ser testadas. O ciclo DMAIC pode ser reiniciado toda vez que os números para a vida útil da ferramenta estiverem abaixo do aceitável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALB, “**CuCrNi2Si – UNS.C18000 Copper Chromium Nickel Silicon Alloys**”, [www.alb-copperalloys.com/high-conductivity-copper/c18000/](http://www.alb-copperalloys.com/high-conductivity-copper/c18000/). Acessado em 12/04/2019.

Butler, W.A.; Midson, S.: “**Shot System Components User’s Guide**”, NADCA (North American Die Casting Association), 2016.

Cantidio, “**Implantação de Documentação de Processos**”, [sandrocan.wordpress.com/tag/plano-de-controle-do-processo/](http://sandrocan.wordpress.com/tag/plano-de-controle-do-processo/). Acessado em 02/05/2019.

Cardoso, K.A.; Santos, M.F.: “**COBRE E SUAS LIGAS**”, [www.ebah.com.br/content/ABAAAooEAD/cobre-suas-ligas](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAooEAD/cobre-suas-ligas). Acessado em 12/04/2019.

Cleto, M.G.; Quinteiro, L.: “**Gestão de Projetos através do DMAIC: Um estudo de caso na indústria automotiva**”, Revista Produção Online, v.11, n.1, p. 210-239, mar.,2011.

Donadel, D.C.: “**Aplicação da metodologia DMAIC para redução de refugo em uma indústria de embalagens**”, Trabalho de Formatura (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Duarte, D.R.: “**Aplicação da metodologia Seis Sigma, modelo DMAIC, na operação de uma empresa do setor ferroviário**”, Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

Fernandes, R.: “**Introdução a Fundição Sob Pressão**”, [qualitecr.blogspot.com/search/label/ARTIGOS%20T%C3%89CNICOS](http://qualitecr.blogspot.com/search/label/ARTIGOS%20T%C3%89CNICOS). Acessado em 22/03/2019.

Fischer, W.: “**Manual de Injeção de Alumínio Sob Pressão**”, WFISCHER TÉCNICA, 2004;

HOLANDA, L.M.C.; SOUZA, I.D.; FRANCISCO, A.C.: “**Proposta de aplicação do método DMAIC para melhoria da qualidade de produtos numa indústria de calçados em Alagoa Nova-PB**”, GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 8, nº 4, out-dez/2013, p. 31 - 44.

Voitto, “**7 Ferramentas da qualidade**”, [www.voitto.com.br/blog/artigo/7-ferramentas-da-qualidade](http://www.voitto.com.br/blog/artigo/7-ferramentas-da-qualidade). Acessado em 25/04/2019.

Werkema, C.: “**Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**”, Elsevier, Brasil, 6ª Edição, 2013.

## APÊNDICE I – PDCA vs DMAIC

O ciclo PDCA, segundo Werkema, 2004, é um clássico método de gestão dividido em etapas, o qual apresenta um caminho a seguir para que metas previamente estabelecidas sejam alcançadas. Este é dividido em quatro etapas:

- 1) *Plan (Planejamento)*: Estabelecer metas e métodos;
- 2) *Do (Execução)*: Executar as tarefas e coletar dados;
- 3) *Check (Verificação)*: Comparar o resultado com a meta planejada;
- 4) *Action (Atuação corretiva)*: Adotar como padrão em caso de sucesso ou agir sobre as causas do fracasso.

No uso do método, o emprego de ferramentas analíticas e técnicas estatísticas é importante para a coleta, processamento e disposição das informações. Existem dois tipos de gerenciamento de processos utilizando este ciclo dependendo das metas estabelecidas, o ciclo para manter (SDCA) e o ciclo para melhorar (PDCA).

Quando se compara o PDCA com o DMAIC percebe-se que não há conflito entre ambos, mas sim, uma complementaridade, logo, os dois métodos podem ser utilizados em uma mesma situação. Escolhe-se o método DMAIC por possuir um roteiro mais detalhado e um maior número de ferramentas analíticas disponíveis. A Figura A1 mostra com clareza a ênfase ao planejamento anterior à execução das ações que é dada pelo método DMAIC.

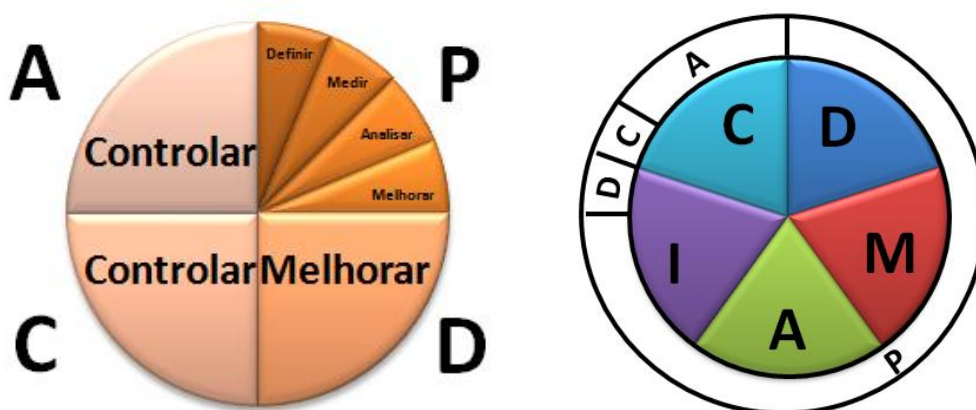


Figura A1 – Comparativo entre os métodos PDCA e DMAIC.

## APÊNDICE II – ILUSTRAÇÃO DAS MELHORIAS (ETAPA IMPROVE)

*Recuado**Avançado*

Figura A2 – Resultado do alinhamento de máquina.



Figura A3 – Câmara de Injeção nova.



Figura A4 – Ligas de pistão utilizadas: CNCS (Usual) e CCNB (Proposta).

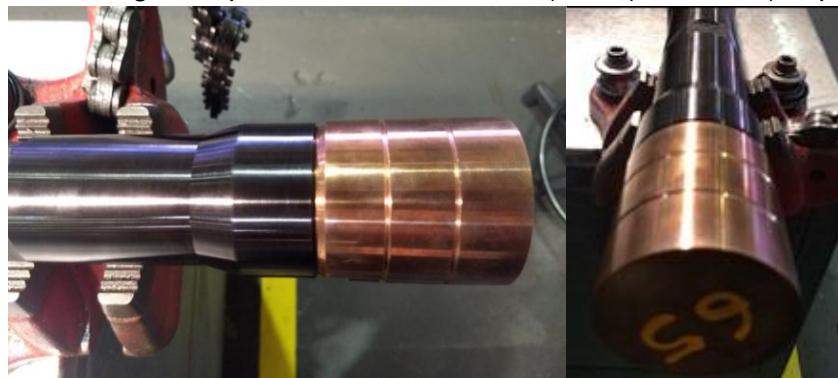


Figura A5 – Haste com geometria modificada (maior Ø no batente).

## APÊNDICE III – CARTA DE CONTROLE PARA TROCA DE PISTÕES (CHECK LIST)

**Check List para saída do pistão de injeção**

Operador	
Data	
Hora	
Turno	
Máquina (INJ)	
Modelo	

Diâmetro do Pistão: 55 60 65 70 75 80 90 94

Quantidade de tiros na injetora (*Contador 1*): \_\_\_\_\_ tiros

Motivo para saída:

---

---

---

---

---

Figura A6 – Check List utilizado em fábrica para levantamento de dados.



## APÊNDICE IV – LUP DE LUBRIFICAÇÃO

Segundo Cyrino, 2018, a LUP (Lição de Um Ponto) é uma ferramenta muito difundida na metodologia TPM para transmitir conhecimento através de informações simples principalmente por meio de desenhos. A ideia da LUP é transmitir uma informação de tal forma que qualquer pessoa consiga entender e aplicar apenas olhando e lendo seu conteúdo.

A Figura A7 ilustra a carta da LUP implementada em fábrica.

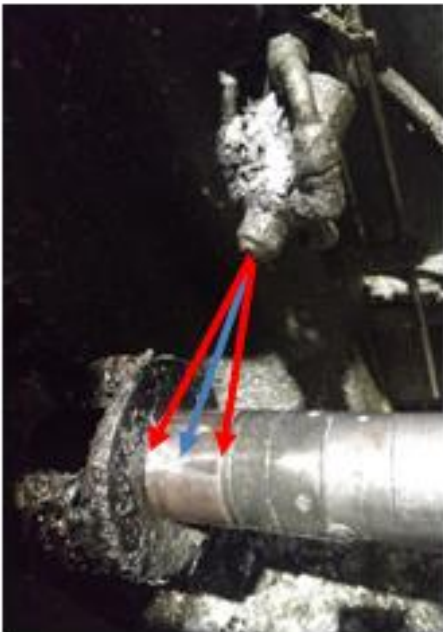

TOM: TIMES ORIENTADOS PARA MANUTENÇÃO				
Tm	Lubrificação incorreta dos pistões de injeção de alumínio		Responsável:	
			Data de aplicação:	
LUP Ferramenta para treinamento rápido			Supervisor / Área:	
Controle de Qualidade	Causa de Melhoria	Causa de Problemas	Setor: ZFA	
Outros				
		<p><b>Incorreto:</b></p> <p>Lubrificante atingindo a bucha de injeção</p> <p>Lubrificante atingindo a haste do pistão</p> <p><b>Correto:</b></p> <p>Bico pulverizador apontado para o centro do corpo do pistão</p>		
<p><u>Tempo de Lubrificação:</u></p> <p>Tempo adequado para que o lubrificante forme uma camada conforme a figura ao lado</p> <p><u>Sugestão:</u></p> <p><b>2,5 Segundos</b></p>				

Figura A7 – Documento da LUP de lubrificação de pistões e injeção.

## APÊNDICE V – Tabelas de propriedades de ligas de cobre

Tabela A5: Propriedades das ligas de cobre.

Nome Comercial	CCZ	CNP	CNCS	CNB spez	CCNB	CCNB eh	CB2
Norma EN	CuCrZr	CuNi1P	~CuNi2Si / CuNi3Si	CuNi2Be	CuCo1Ni1Be	CuCo1Ni1Be	CuBe2
Nº do Material Norma-EN	CW106C	CW108C	~CW111C - CW112C	CW110C	CW103C	cCW103C	CW101C
Norma DIN - Antiga	21.293	-	~2.0855 / 2.0857	2.085	~2.1285	~2.1285	21.247
Sistema UNS (ASTM)	C18400	C19000	C18000	C17510	~C17500	~C17500	C17200
<b>Análise Orientativa (% em peso)</b>							
Cr	0,5 - 1,2	-	0,2 - 0,5	-	-	-	-
Zr	0,03 - 0,3	-	-	-	-	-	-
Co	-	-	-	máx. 0,3	0,3 - 1,3	0,3 - 1,3	Co + Ni: 0,2 - 0,5
Ni	-	0,8 - 1,2	2,0 - 3,0	1,4 - 2,4	0,8 - 1,3	0,8 - 1,3	
Mn	-	-	máx. 0,1	-	-	-	-
Be	-	-	-	0,2 - 0,6	0,4 - 0,7	0,4 - 0,7	1,8 - 2,0
Al	-	-	-	-	-	-	-
Si	0,1	-	0,5 - 0,8	máx. 0,2	máx. 0,2	máx. 0,2	máx. 0,1
Pb	-	-	máx. 0,02	-	-	-	-
P	-	0,15 - 0,25	-	-	-	-	-
Fe	máx. 0,08	-	máx. 0,15	máx. 0,2	máx. 0,2	máx. 0,2	máx. 0,1
Outros	máx. 0,2	máx. 0,1	máx. 0,15	0,5	0,5	0,5	máx. 0,5
Cu	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante	Restante
<b>Características Mecânicas (Valores aproximados a 20 °C)</b>							
Dureza 1) HB	*) mín. 115	mín. 140	mín. 190	mín. 220	mín. 220	mín. 260	mín. 350
Alongamento 2) N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	*) mín. 350	mín. 400	mín. 650	mín. 680	mín. 680	mín. 750	mín. 1150
0,2% - Limite Alongamento 2) N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	*) mín. 250	mín. 360	mín. 500	mín. 540	mín. 550	mín. 650	mín. 1000
Ponto de Ruptura (A5) 2) %	*) mín. 8	mín. 20	mín. 10	mín. 8	mín. 8	mín. 8	mín. 3
E - Módulo N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	125000	140000	140000	135000	135000	135000	135000
<b>Características Físicas (Valores aproximados a 20 °C)</b>							
Peso Específico g/cm <sup>3</sup>	8,90	8,90	8,84	8,85	8,85	8,85	8,30
Condutividade Térmica W/mK	310 - 340	245	190 - 240	270 - 320	230 - 250	230 - 250	160
Condutividade Elétrica 1) MS/m	mín. 44	mín. 32	mín. 22	mín. 38	mín. 25	mín. 28	mín. 16
Coefficiente de Alargamento x 10 <sup>-9</sup> /°K	17,0	17,0	16,2	17,2	17,2	17,2	17,0
*) Estas características dependem de (deformação a frio ou quente) e da dimensão.							
1) As garantias das características mecânicas são certificadas apenas por ordem do cliente (os valores são determinados pela média de três medições em pontos aleatórios).							
2) Características mecânicas atribuídas (a ser certificado apenas por ordem do cliente).							

Fonte: TECNOWELDING, [www.tecnowelding.ind.br/pdf/propriedade-das-ligas-de-cobre.pdf](http://www.tecnowelding.ind.br/pdf/propriedade-das-ligas-de-cobre.pdf).  
Acessado em 05/05/2019.