

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Isaac de Oliveira

Isaias de Oliveira

**USO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DO
SCRAP DE EIXOS DE TRANSMISSÃO COM DIÂMETRO DO
ALOJAMENTO ABAIXO DO ESPECIFICADO**

Taubaté – SP

2017

Isaac de Oliveira

Isaias de Oliveira

**USO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE
SCRAP DE EIXOS DE TRANSMISSÃO COM DIÂMETRO DO
ALOJAMENTO ABAIXO DO ESPECIFICADO**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de
Oliveira Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Taubaté – SP

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

O482u Oliveira, Isaias
 Usu da metodologia seis sigma para reduçãu do scrap de eixos de transmissãu com diâmetro do alojamento abaixo do especificado. / Isaias de Oliveira, Isaac de Oliveira. - 2017.
 41f. : il; 30 cm.
 Monografia (Graduaçãu em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017
 Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren,
 Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren
 Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.
 1. DMAIC. 2. Eixos de transmissãu. 3. Scrap. 4. Seis sigma. I. Títulu.

ISAAC DE OLIVEIRA
ISAIAS DE OLIVEIRA

USO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUÇÃO DE SCRAP
DE EIXOS DE TRANSMISSÃO COM DIÂMETRO DO ALOJAMENTO
ABAIXO DO ESPECIFICADO

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

À Professora Regina e ao Professor Paulo, por sua paciência e sinceridade com que orientou nosso trabalho.

Aos meus pais, que nos apoiaram a não desistir desse sonho.

À todos os amigos e professores que também contribuíram para a realização desse trabalho.

Obrigado.

Se você pensa que pode ou se pensa que não pode,
de qualquer forma você está certo.

Henry Ford

RESUMO

Atualmente no ambiente industrial, devido à competitividade, é cada vez mais necessária a busca por processos eficientes que contribuam para a qualidade e redução dos custos dos produtos, sobretudo a redução de refugo. Este trabalho foi realizado em um fabricante de motores onde existe uma quantidade inaceitável de eixos de transmissão que apresentam variação excessiva do diâmetro do alojamento do rolamento do eixo secundário. A proposta deste projeto é empregar a metodologia Seis Sigma para obter a redução desta quantidade não conforme para níveis aceitáveis. Para tal propósito, são utilizados o ciclo DMAIC e algumas ferramentas estatísticas da qualidade.

Palavras-chave: DMAIC; Eixos de Transmissão; Scrap; Seis Sigma.

ABSTRACT

The severe global competition in the industrial environment has required organizations to work towards high quality products, productivity and best profits, as well, waste and scrap reduction. This monograph is performed in an engine manufacturing factory, where it was found an excessive deviation in the diameter of main shafts. The focus of this project is to reduce this deviation through applying the Six Sigma methodology. We are going to present the steps of DMAIC cycle and some quality tools.

Keywords: DMAIC; Main shaft; Scrap; Six Sigma

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diâmetro do Alojamento do Rolamento.....	25
Figura 2 – Digrama de Ishikawa.....	26
Figura 3 – Gage R&R.....	28
Figura 4 – DPMO Inicial.....	29
Figura 5 – Diagrama de Pareto.....	30
Figura 6 – Capacidades do Processo de Produção.....	32
Figura 7 – DPMO inicial/final.....	33
Figura 8 – Plano de Controle.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção x Rejeitos	30
---------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz Causa e Efeito.....	27
Tabela 2 – Plano de Ação.....	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – SIPOC.....	25
-----------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	14
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	14
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Eixos de transmissão.....	15
2.1.1 Processo de fabricação de eixos de transmissão automobilísticos.....	15
2.1.2 Os principais defeitos dimensionais dos eixos de transmissão.....	16
2.1.3 O Processo de scrap na Qualidade Automobilística.....	17
2.2 A METODOLOGIA SEIS SIGMA.....	17
2.2.1 DMAIC.....	19
2.2.1.1 Definir (<i>Define</i>).....	19
2.2.1.1 Medir (<i>Measure</i>).....	20
2.2.1.1 Analisar (<i>Analyze</i>).....	20
2.2.1.1 Melhorar (<i>Improve</i>).....	20
2.2.1.1 Controlar (<i>Control</i>).....	20
2.2.1 Ferramentas da Qualidade.....	20
2.2.2.1 Diagrama de Pareto.....	20
2.2.2.2 Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa).....	21
2.2.2.3 Histograma.....	21
2.2.2.4 Fluxograma.....	21
2.2.2.5 Cartas de Controle.....	21
2.2.2.6 Folha de Verificação.....	22
2.2.2.7 Diagrama de Dispersão.....	22
2.3 A METODOLOGIA SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA.....	22
3 METODOLOGIA	23
4 RESULTADOS	24

4.1 Fase Definir.....	24
4.1.1 Voz do cliente.....	24
4.1.2 Objetivo do projeto.....	24
4.1.3 SIPOC.....	25
4.1.4 Matriz causa e efeito	26
4.2 Fase Medir.....	28
4.3 Fase Analisar.....	30
4.4 Fase Implementar.....	31
4.5 Fase Controlar	33
6 CONCLUSÕES.....	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Com busca por competitividade, maiores lucros e melhor qualidade, é necessária uma gestão que se apoie em ferramentas eficazes, principalmente quando a empresa enfrenta uma quantidade de rejeitos muito alta, o que é inaceitável no ambiente atual das organizações.

A partir disto, a análise de dados tem sido um importante fator estratégico para a tomada de decisões em uma empresa. Nesse contexto, o Seis Sigma, por meio de ferramentas estatísticas e do ciclo DMAIC, colabora sobremaneira para a redução dos desperdícios e o aumento da rentabilidade da organização. Segundo Panazzo (2009, p.4), Seis Sigma consiste em uma ferramenta que contribui para alinhar os processos com as necessidades do mercado, reduzindo atividades que não agregam valor, o que aumenta a rentabilidade e a competitividade da organização.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto é embasar teoricamente e acompanhar, relatando, a implantação da metodologia Seis Sigma para redução do índice de refugo (*scrap*) na fabricação de eixos automotivos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para reduzir o índice de refugo será utilizada a técnica DMAIC e algumas ferramentas da qualidade, com a função de avaliar o processo e aplicar as melhorias necessárias para o sucesso do projeto.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho pretende estudar a eficácia da aplicação das ferramentas Seis Sigma, restringindo-se à melhoria do desempenho em uma organização fabricante de motores automotivos.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

No cenário atual de grande concorrência entre as empresas automobilísticas, é necessário um alto padrão de qualidade e redução de desperdícios.

Diante disso, surge a motivação para realizar este trabalho com o objetivo de reduzir os níveis de refugo por meio da metodologia Seis Sigma.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro apresenta o tema pesquisado e o objetivo da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, onde serão abordados tópicos da metodologia Seis Sigma e seu histórico, ferramentas da qualidade e o processo de *scrap* na indústria automobilística.

A metodologia é apresentada no capítulo 3. Nesse capítulo é descrito o conceito do método Pesquisa-Ação e o estudo de caso.

No capítulo 4, são apresentados os dados recolhidos durante a pesquisa, e no capítulo 5, os resultados obtidos.

O capítulo final, "Conclusões", apresenta a síntese dos resultados obtidos por meio da pesquisa, seguido das necessárias Referências.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Eixos de transmissão

Segundo Bosch (2005) o sistema de transmissão de um automóvel tem a finalidade de fornecer forças necessárias (tração e impulsão) para gerar movimento ao veículo, convertendo o torque em rotação, permitindo o movimento para frente e para trás.

“[...] Eixos são elementos de construção mecânica, que se destinam a suportar outros elementos de construção (polias, engrenagens, rolamentos, rodas de atrito etc.), com a finalidade de transmitir movimento [...]” (MELCONIAN, 2012, p.25). De acordo com este mesmo autor, os eixos são divididos em dois tipos: os eixos que trabalham fixos e que somente suportam os elementos, e eixos-árvore, que trabalham em movimento conjunto com outros elementos, transmitindo potência por meio do movimento de rotação, como, por exemplo, os eixos da caixa de mudanças de marcha de um veículo.

2.1.1 Processo de fabricação de eixos de transmissão automobilísticos

Ao realizar sua função de transmitir os movimentos de rotação e torque, os eixos de transmissão são submetidos a um elevado esforço de torção e, por isso, devem ser fabricados com a precisão correspondente (WALTER, 2017).

Segundo Wanderley (2007, p.7):

“Os eixos são construídos em aço, com baixo e médio teor de carbono. Os eixos com médio teor de carbono exigem um tratamento térmico superficial, pois estarão em contato permanente com buchas, rolamentos e materiais de vedação. Existem, também, eixos fabricados com aços-liga, altamente resistentes.

O termo comumente usado “Árvore” é um elemento que gira transmitindo potência. Um “Eixo” é um elemento fixo suportando rodas rotativas, polias, etc. Uma “Árvore de transmissão” é a que é acionada por uma máquina

motriz; a potência é retirada da árvore através de correias ou correntes, geralmente em diversos pontos ao longo de sua extensão. As principais solicitações nos eixos são: Flexão Simples, Torção Simples, Flexo-torção”.

Na produção dos eixos que serão utilizados em ambientes corrosivos ou marítimos se utiliza bronze e aço inoxidável (ANDRADE, 2015). Quando há engrenagens fundidas ao eixo é utilizado ferro fundido nodular que de acordo com Francklin (2009) garante maior tenacidade, resistência a tração e ductilidade, bem como resistência ao desgaste e fadiga. “[...] Eles são construídos através de processos como torneamento ou trefilação a frio. Em casos mais específicos, estes podem ser produzidos por métodos de fundição e posterior retificação por meio de usinagem [...]” (ANDRADE, 2015, p.30).

Às vezes é possível projetar eixos de transmissão úteis que não têm variações do diâmetro de seção ao longo de seu comprimento, mas é mais comum que os eixos tenham um número de degraus ou ressalto onde o diâmetro mude para acomodar elementos fixados tais como mancais, catracas, engrenagens entre outros. Assim, a forma homogênea ou heterogênea, dependerá dos elementos suportados pelo eixo ou pontos de solicitações (ANDRADE, 2015, p.23).

2.1.2 Principais defeitos dimensionais dos eixos de transmissão

Segundo Andrade (2015) é necessário grande conhecimento de todas as solicitações (torção, flexão, esforço corte e normais.) que podem atuar em um eixo visto que seu dimensionamento é bastante complexo.

Muitas empresas dispõem de um custo elevado para reparos de peças após a manufatura (MOURA, 2012). Ainda segundo Moura (2012) essa necessidade de reparos tem como uma das principais causas as tensões residuais, que são comuns na fabricação de eixos automotivos, podendo ocasionar variação das dimensões, devido aos diferentes processos que passam os materiais durante a fabricação.

É de grande importância a análise de tais tensões, pois exercem mudanças nas propriedades dos materiais, como a vida em fadiga, a distorção, estabilidade dimensional, resistência à corrosão e fragilidade a fratura. (ROSSINI 2011, *apud* LEMOS, 2012).

2.1.3 O processo de *scrap* na Qualidade Automobilística

Scrap ou refugo são defeitos e não conformidades inaceitáveis em um processo. O custo dessa não conformidade é muito alto, pois resulta em desperdícios de matéria-prima e mão de obra, sendo necessárias ações para controlar e resolver a ocorrência dos problemas. (PALADINI, 2012, *apud* DUPPRE, 2015). Assim sendo, as empresas de autopeças buscam soluções para a redução da ocorrência destes defeitos, apoiando-se em ferramentas da qualidade e em metodologias de melhoria contínua. Um exemplo disso é a Metodologia Seis Sigma, que tem como objetivo a agregação de valor ao processo ou produto, satisfação do cliente e redução de custos (RODRIGUES, 2006, p.20).

Hoje em dia a rejeição é um problema sério que surge em todas as indústrias, e isso significa perdas. Se essa rejeição for minimizada, então é possível aumentar os lucros da empresa. Há muitos fatores responsáveis pela rejeição, tais como erros humanos, erros de máquina, planejamento de processo ou ainda erros na escolha de materiais (KUMAR, 2014).

2.2. A Metodologia Seis Sigma

O desenvolvimento do Seis Sigma iniciou na Motorola devido ao aumento da competitividade, necessidade de produtos mais complexos e grande número de defeitos, além do aumento de gastos para corrigi-los e das exigências dos consumidores por altos níveis de qualidade dos produtos e serviços. Bill Smith implantou na Motorola, em 1987, uma metodologia que almejava alcançar seis desvios padrão para a tolerância de um processo, melhorando consideravelmente o lucro da empresa e reduzindo seus custos em US\$ 15 bilhões (RODRIGUES, 2006). Essa metodologia ficou conhecida como Seis Sigma e mais tarde, em 1994, foi

usada pela General Electrics que também teve redução nos custos em US\$ 12 bilhões. Ainda de acordo com Rodrigues (2006) no Brasil algumas empresas se destacaram com o uso da metodologia Seis Sigma, entre elas: Gerdau, Brahma, Celma, Tigre Tubos e Conexões, Multibras, Nokia, Tupy Fundições e Votorantim.

Segundo Figueiredo (2006, p.15):

“O termo Seis Sigma define uma medição da qualidade: 3.4 defeitos por milhão de eventos ou 99,99966% de perfeição. Um defeito é qualquer coisa que cause a insatisfação do cliente, tal como um produto que não atenda às especificações do cliente, serviço deficiente ou uma etiqueta com preço muito alto. Se uma organização puder reduzir a média de desvio de seus produtos, uma menor quantidade deles terá defeitos e haverá uma economia de custo”.

Conforme Panazzo (2009, p.4) *sigma* é uma letra grega que tem a função, na estatística, de medir o desvio padrão de uma população. Em qualidade, o *sigma* representa a variabilidade dos dados em relação às expectativas do cliente, conseqüentemente, um maior valor *sigma* no processo significa melhores produtos ou serviços e menor número de defeitos. Ainda segundo Panazzo, um processo com mínima variabilidade quer dizer entregar um produto conforme os requisitos do cliente, tanto em qualidade, prazo, quantidade e preço.

De acordo com Rotondaro (2002, p.18), “[...] Seis Sigma é uma metodologia que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço [...]”.

Para Antony e Banuelas (2002) Seis Sigma é uma metodologia e uma estratégia de negócios que aumenta a lucratividade da empresa através de ganhos com a qualidade do produto ou serviço, satisfação do cliente e produtividade. Ainda segundo Banuelas e Antony (2002) o sucesso do programa Seis Sigma se deve ao fato de possuir uma abordagem passo a passo ou um roteiro definido que passa pelas etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (DMAIC).

2.2.1 DMAIC

Para Cheng 2006 *apud* (SANTOS, 2016, p.37) “[...] a integração do DMAIC une ferramentas chaves da estatística, define tópicos do Seis Sigma e então mede, analisa, implementa e controla a sequência de melhorias de processo [...]”.

Para Battestin (2016 p.23) “[...] o DMAIC é usado em situações em que determinado problema ocorre repetidamente, ou seja, um problema contínuo, que possua histórico de falhas ou de irregularidades [...]”. Cada letra do ciclo DMAIC diz respeito a uma fase do Seis Sigma e significa, traduzida do inglês, Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Melhorar (*Improve*) e Controlar (*Control*). A finalidade da utilização deste ciclo é de encontrar as causa-raízes dos problemas, eliminá-los ou minimizá-los e também mantê-los sob controle depois de efetuada a mudança (LUCAS, 2002 *apud* SANTOS, 2016, p.29).

2.2.1.1 Definir (*Define*)

A primeira fase será realizada com precisão a definição dos objetivos do projeto. Serão definidos os processos críticos e os objetivos de acordo com as necessidades e expectativas dos clientes e do negócio (RODRIGUES, 2006, p.28).

2.2.1.2 Medir (*Measure*)

É a fase onde são obtidos o histórico de dados necessários para estabelecer o estado atual do processo (ANTONY, 2002). De acordo com Cleto (2011) nesta fase será determinada a localização do problema.

2.2.1.3 Analisar (*Analyze*)

Nesta fase com base na análise dos dados coletados e por meio de cálculos estatísticos, é determinada a causa raiz dos problemas. Para Rodrigues (2006, p.59), é a fase onde serão analisados o desempenho e a causa dos problemas.

2.2.1.4 Melhorar (*Improve*)

Nesta fase são desenvolvidas soluções para intervir nos problemas encontrados e reduzir a variabilidade. De acordo com Cleto (2011, p.217), “[...] nesta fase serão realizadas atividades para gerar ideias que levem à solução do problema e também à implantação ou teste destas ideias [...]”.

2.2.1.5 Controlar (*Control*)

A última fase do ciclo segundo Antony e Banuelas (2002), consiste em se criar procedimentos para garantir que as melhorias sejam mantidas.

2.2.2 Ferramentas da Qualidade

2.2.2.1 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto tem a função de demonstrar as principais causas de um defeito, para que assim possam ser resolvidas mais rapidamente, tendo prioridade sobre as outras. Para Rodrigues (2006, p.52) “[...] O Diagrama de Pareto

tem como objetivo explicitar os problemas prioritários de um processo, através da relação 20/80 (20% das causas, explicam 80% dos problemas) [...]”.

2.2.2.2 Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa)

O Diagrama de Causa e Efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou de Espinha de Peixe, é um processo utilizado para analisar e identificar as principais causas de um problema ou defeito (RODRIGUES, 2006).

2.2.2.3 Histograma

É uma forma de descrição gráfica de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência. Permite verificar a forma da distribuição, o valor central e a dispersão dos dados (ROTONDARO, 2002).

2.2.2.4 Fluxograma

Fluxograma é uma ferramenta representada por meio de um diagrama, que tem a função de auxiliar a visualização das várias fases ou etapas de um processo. Para isso, é utilizada uma simbologia que indica os diferentes tipos de operações (RODRIGUES, 2006).

2.2.2.5 Cartas de Controle

É uma forma de descrição gráfica de dados quantitativos, agrupados em classes de frequência. Permite verificar a forma da distribuição, o valor central e a dispersão dos dados (ROTONDARO, 2002).

2.2.2.6 Folha de Verificação

Folha de Verificação é uma lista ou formulário que reúne dados de um processo. Tem a função de avaliar os dados e identificar a frequência com que os eventos ocorrem (RODRIGUES, 2006).

2.2.2.7 Diagrama de Dispersão

Segundo Rodrigues (2006, p.65) “[...] Diagrama de Dispersão é uma técnica estatística que permite identificar e analisar a existência e intensidade do relacionamento entre duas ou mais variáveis [...]”.

2.2. A Metodologia Seis Sigma na Indústria Automobilística

Segundo Quinello (2005, p.18) “[...] A indústria automotiva é uma das atividades industriais de maior importância para a geração de emprego, renda e produtos [...]”.

Para Munk (2013, p.32) os fabricantes de automóveis podem ter muitos benefícios na qualidade e na satisfação dos clientes com a implantação do Seis Sigma que está totalmente integrado nos processos de fabricação automotiva, sendo reconhecido mundialmente como padrão de qualidade (AEHQ, 2014)

Existem inúmeros casos de organizações que obtiveram sucesso em programas Seis Sigma, como a Motorola, Allied Signal, Texas, Asea Brown Boveri, Black & Decker, Bombardier, Dupont, Dow Chemical, Federal Express, Johnson & Johnson, Kodak, Navistar, Polaroid, Seagate Technologies, Siebe Appliance Controls, Sony, Toshiba e muitas outras (Pande, 2001).

No Brasil, a metodologia Seis Sigma surge na Brasmotor, em 1997, que com apenas dois anos de sua implementação teve ganhos de 20 milhões, e mais tarde, ela foi implantada também na Ford Motor Company, no ano de 2000 (Quinello 2005).

3 METODOLOGIA

A estratégia de estudo de caso foi adotada para possibilitar o estudo profundo de dados quantitativos e a aplicação de métodos estatísticos de maneira que se permita conhecer as características de um processo (GIL, 1991).

Segundo Schramm (1971, p.28) “[...] a essência de um estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados [...]”.

O trabalho realizado é uma pesquisa aplicada, que segundo Gil (1991) visa gerar conhecimento por meio da aplicação de práticas na resolução de problemas. É uma pesquisa quantitativa e de acordo com Gil (1991) se trata da coleta de dados e utilização de técnicas estatísticas com o objetivo de traduzir estes dados em informações. É também uma pesquisa-ação pois está associada a resolução de um problema (THIOLLENT, 1986).

O projeto foi desenvolvido seguindo-se as etapas do ciclo DMAIC: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Os exemplares de eixos secundários de transmissão, foram todos coletados de lotes representativos de produção e medidos em suas características-chave com o uso de micrômetro, relógio comparador e máquinas de medição tridimensional. Todas as dimensões significativas foram então analisadas quanto à normalidade e à existência de pontos “fora de controle”, que pudessem ser desprezados quando do tratamento estatístico dos dados, sob a ótica da metodologia Seis Sigma. Como meta para melhoria foi determinado um índice de até 0,1% de refugo em relação ao volume produzido.

4 RESULTADOS

Foi utilizada a metodologia DMAIC para obtenção dos resultados apresentados a seguir:

4.1 Fase Definir

4.1.1 Voz do cliente

Identificaram-se as principais reclamações dos clientes desse processo, quais sejam:

- A montagem do rolamento do eixo secundário não permitia prensagem devido ao diâmetro do alojamento do rolamento estar abaixo do especificado;
- O diâmetro do alojamento do rolamento estava abaixo da tolerância mínima especificada para a dimensão, causando não-conformidade na montagem do rolamento da transmissão; e
- Havia um alto índice (elevada quantidade) de *scrap* (descarte/rejeição) de eixos de transmissão.

4.1.2 Objetivo do projeto

O projeto foi focado na operação 160, na qual é realizada a retificação do diâmetro do alojamento do rolamento, como ilustrado na Figura 1, a seguir.

Figura 1: Diâmetro do Alojamento do Rolamento



Fonte: Elaborada pelo Autor

4.1.3 SIPOC

Foram identificadas as etapas do processo conforme Quadro 1:

Quadro 1 – SIPOC

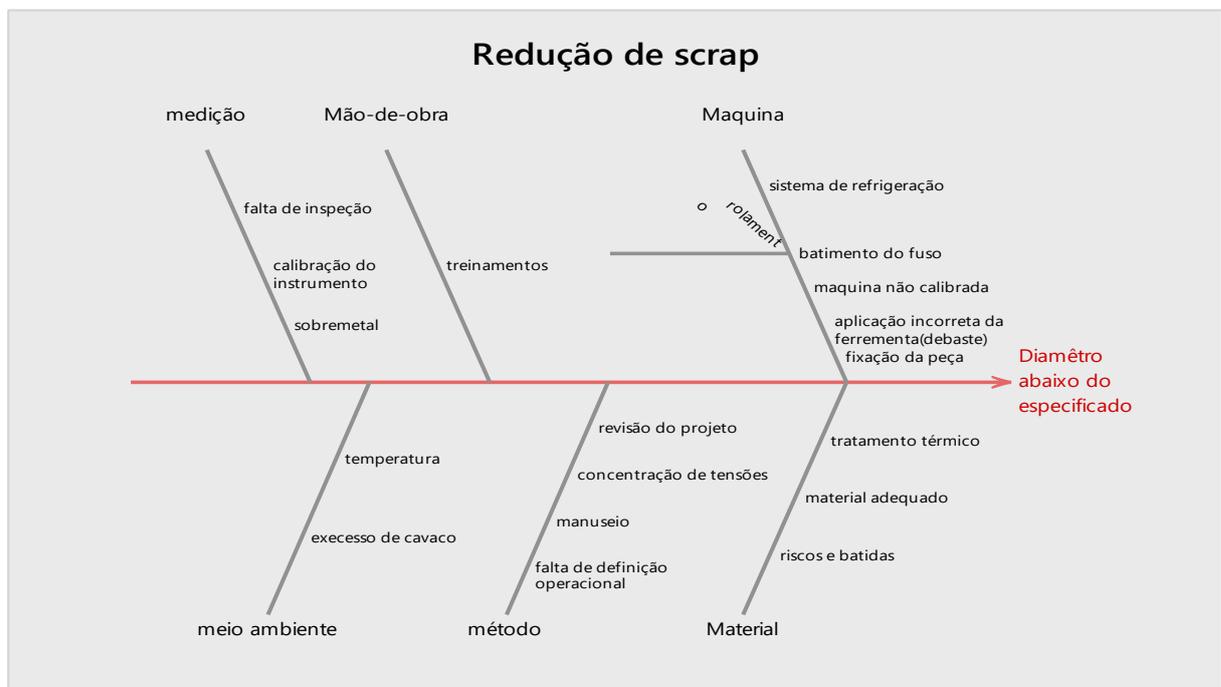
SIPOC				
Fornecedores	Entradas	Processo	Saídas	Cientes
OP. 150	Área de espera	OP. 160	Área de descarga	OP. 170

Fonte: Elaborada pelo Autor

4.1.4 Matriz causa e efeito

A partir da realização de um *Branstorming*, construíram-se o digrama de Ishikawa (Figura 2) e a Matriz de Causa e Efeito, definindo-se as causas potenciais do problema por meio do diagrama de Pareto.

Figura 2 – Digrama de Ishikawa



Fonte: Elaborada pelo Autor

Foram levantadas hipóteses para as possíveis causas do problema, levando em consideração 6M's da qualidade, como ilustrado na Figura 2.

Tabela 1 – Matriz Causa e Efeito

Rating of Importance to Customer		9			
Feature #		1	2	3	
Y		Variação no Diâmetro Externo das Ferr. Shave			
X's					
Process Inputs					Total
1	sistema de refrigeração	5			45
2	batimento do fuso	9			81
3	maquina não calibrada	9			81
4	aplicação incorreta da ferrementa(desbaste)	9			81
5	fixação da peça	9			81
6	riscos e batidas	1			9
7	material adequado	5			45
8	tratamento térmico	1			9
9	treinamentos	5			45
10	manuseio	1			9
11	concentração de tensões	5			45
12	falta de definição operacional	5			45
13	revisão do projeto	1			9
14	excesso de cavaco	1			9
15	temperatura	5			45
16	sobremetal	9			81
17	excesso de cavaco	1			9
18	temperatura	1			9
Total		801	0	0	

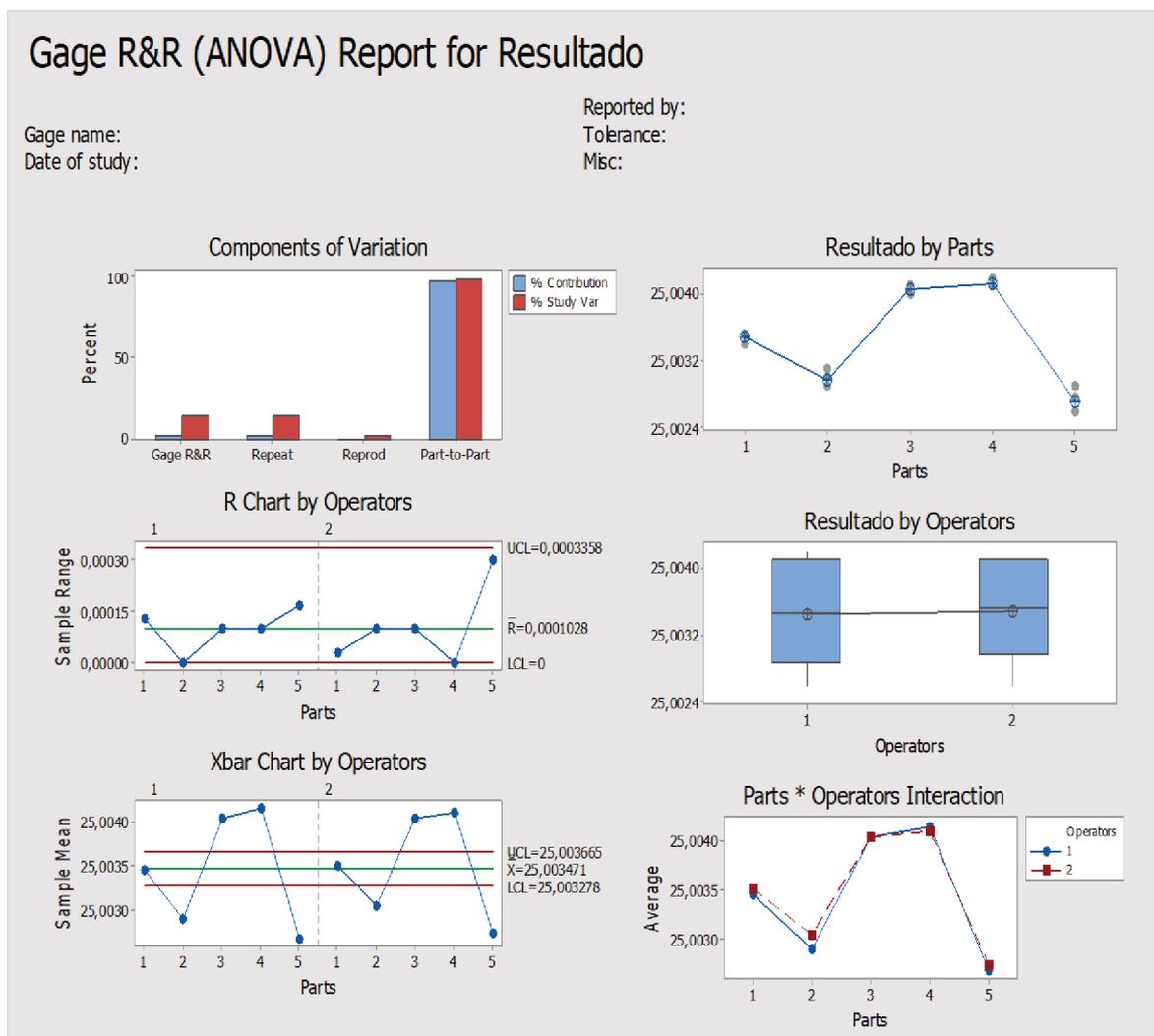
Fonte: Elaborada pelo Autor

Conforme ilustrado na Tabela 1, foram definidas uma prioridade para cada causa encontrada por meio do diagrama de Ishikawa. Diante disso, foi possível focalizar os esforços nas causas mais relevantes (todas as que somaram 81 na Tabela 1).

4.2 Fase Medir

Com o levantamento de dados foi possível uma melhor visualização dos problemas prioritários descritos na fase anterior, Definir.

Figura 3 – Gage R&R



Fonte: Elaborada pelo Autor

- Para análise do sistema de medição foi utilizado o Gage R&R, por meio do qual foi possível verificar a reprodutibilidade e a repetibilidade, as quais dizem

respeito, respectivamente, à eficiência do operador e do instrumento de medição, bem como às interações entre os mesmos.

- Conforme ilustrado na Figura 3, o resultado do teste de validação do instrumento de medição está conforme as exigências esperadas.

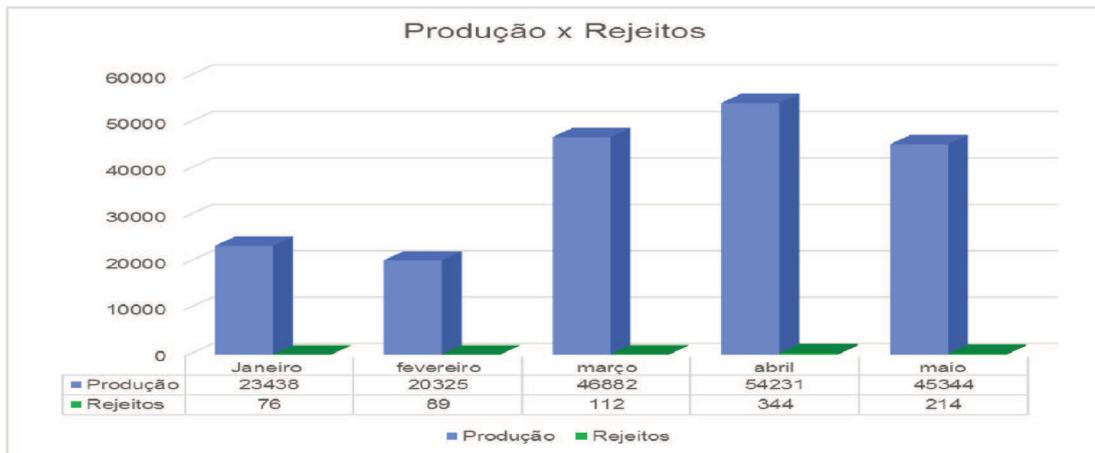
Figura 4 - DPMO Inicial

Amostragem	190220	Unidades
Oportunidades de Erro	1	Oportunidades
Unidades com Erro	835	Unidades
Total de oportunidades	190220	Erros
Rendimento	99,5610	%
Rejeição	0,43897	%
DPU	0,00439	
DPO	0,004390	
DPMO	4389,65	
NIVEL SIGMA	2,62	LONGO PRAZO
	4,12	CURTO PRAZO

Fonte: Elaborada pelo Autor

- Na etapa de Medição observou-se um processo com muitos erros e um nível sigma relativamente baixo (2,62 no Longo Prazo).
- Também se verificou um índice de rejeitos muito alto, ilustrado no Gráfico 1, de 835 unidades com defeitos, do total de 190.220 produzidas. Isso pode indicar um processo não controlado, com muita variabilidade, podendo resultar em até 4.389,65 unidades com defeito por milhão de unidades produzidas (DPMO), conforme ilustrado na Figura 4.

Gráfico 1- Produção x Rejeitos

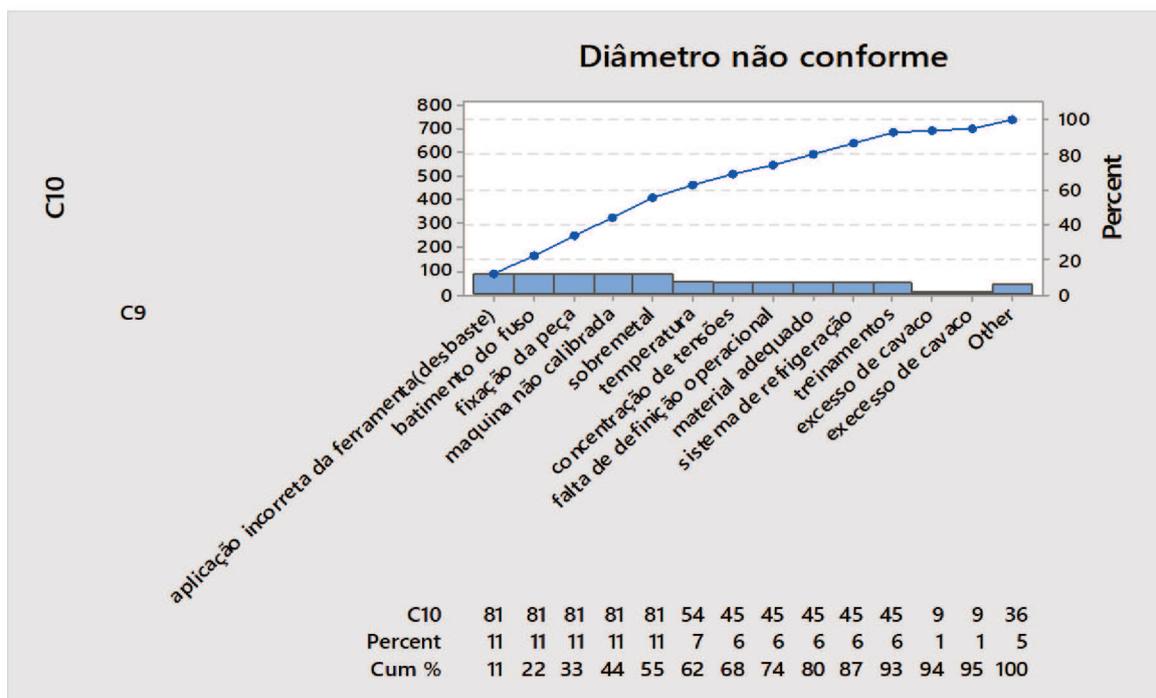


Fonte: Elaborada pelo Autor

4.3 Fase Analisar

Todos os dados obtidos foram analisados, buscando-se encontrar os principais pontos de origem do problema.

Figura 5 – Diagrama de Pareto



Fonte: Elaborada pelo Autor

Por meio da análise do Diagrama de Pareto, verificou-se os principais motivos dos eixos estarem fora do diâmetro especificado. A análise da Figura 5 mostra que as principais causas, que correspondem a 55% dos problemas, são as seguintes:

- Aplicação incorreta da ferramenta (de desgaste)
- Batimento do fuso
- Fixação (incorreta) da peça
- Máquina não calibrada
- Sobremetal (existente)

4.4 Fase Implementar

Nesta fase implementam-se as melhores ações para correção do problema.

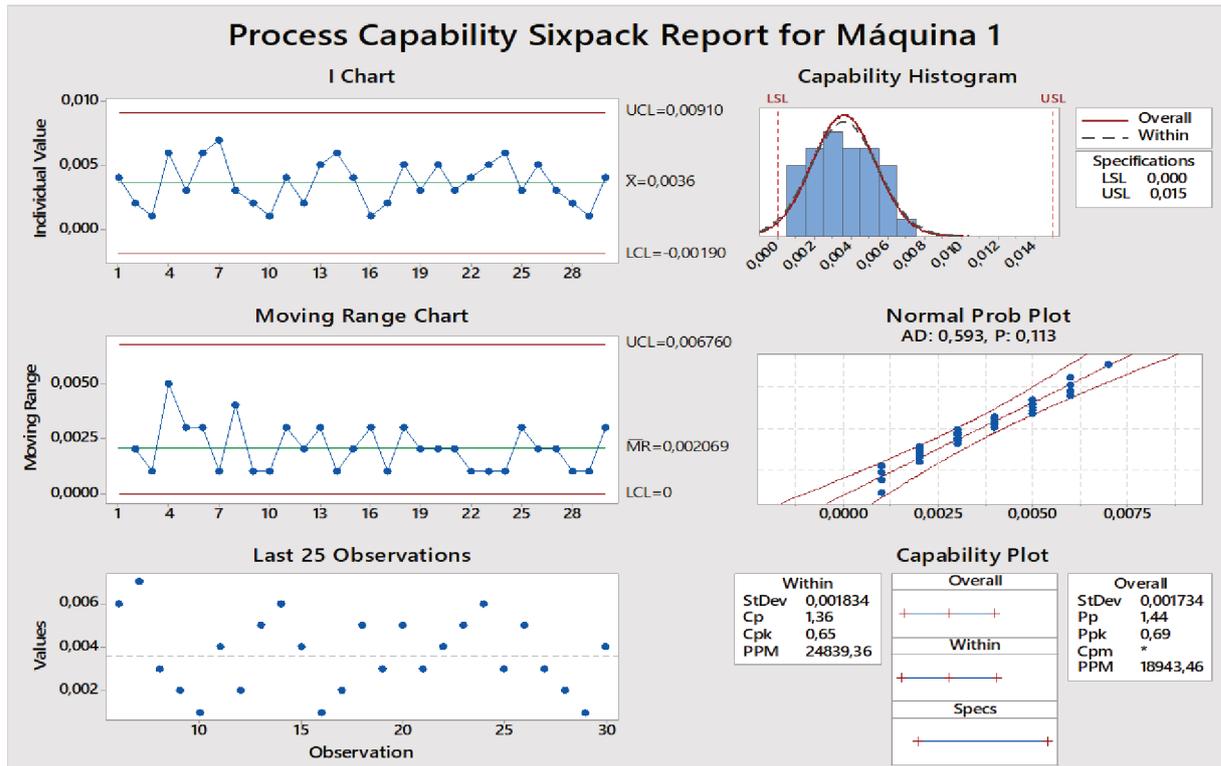
Tabela 2 - Plano de Ação

PLANO DE AÇÃO - CRONOGRAMA													
Estudo nº.:		Data conclusão real : 20/06/17		Emitente : Isaac / Isaias		Emissão : 20/06/2017		Página : 01 / 02					
Objetivo Implementação de Projeto Green Belt - Diminuição de scrap						Revisão :							
ÍTEM	AÇÕES PROPOSTAS	CLASSIFIC	RESPONSÁVEL	DATA DE IMPLEMENTAÇÃO			PROGRESSO (%)					OBSERVAÇÕES	
				PREVISTA	INICIO	REAL	20	40	60	80	100		
1	Aplicação incorreta da ferramenta(desbaste)		Isaac / Isaias	28/06/17	28/06/17	28/06/17	█	█	█	█	█	█	
2	batimento do fuso			28/06/17	28/06/17	28/06/17	█	█	█	█	█	█	
3	fixação da peça			28/06/17	28/06/17	28/06/17	█	█	█	█	█	█	
4	maquina não calibrada			28/06/17	28/06/17	28/06/17	█	█	█	█	█	█	
5	sobremetal			28/06/17	28/06/17	28/06/17	█	█	█	█	█	█	
Classificação : 1 - Ação Corretiva 2 - Ação Preventiva 3 - Abrangência 4 - Confirmação 5 - Reocorrência													
Participantes :													
C.c. Srs.:													

Fonte: Elaborada pelo Autor

- Depois de aplicadas as correções propostas, obteve-se uma significativa melhoria no desempenho do processo, executado à Operação 160, conforme se pode observar durante a análise da Figura 6, a seguir.

Figura 6 – Capacidades do Processo de Produção



Fonte: Elaborada pelo Autor

Analisando-se a Figura 6, observa-se uma significativa redução da variabilidade do processo, dado que:

O processo teve uma significativa melhoria em seu desempenho, evoluindo de um Pp = 0,61 para um Pp = 1,44, e em sua capacidade, atingindo um Cp = 1,34, como ilustrado na Figura 6.

Também é possível observar uma evidente melhoria na curva de distribuição normal onde, depois de aplicadas as ações corretivas, obteve-se um formato mais focado no alvo (média) do projeto.

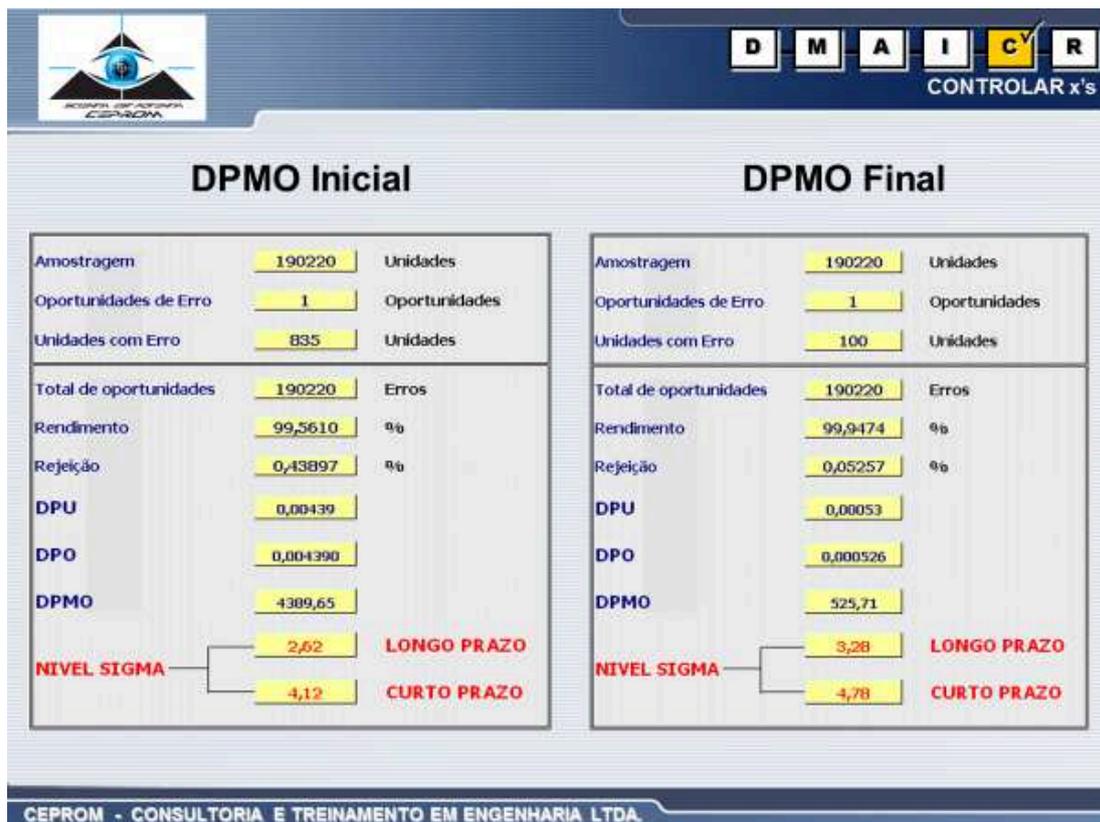
Não se observa a repetição de medições em sequência, o que demonstra que o processo está melhor controlado em relação ao inicialmente estudado.

Prosseguindo-se com as fases do DMAIC, tem-se a última, Controlar, referente a se manter sob controle o processo, garantindo-se que as melhorias incorporadas e os ganhos obtidos não se percam por inércia ou pela falta de padrão.

4.5 Fase Controlar

Visando-se assegurar os resultados obtidos, tem-se que nesta fase foi reduzido o número de DPMO (defeitos por milhão de oportunidades) de Longo Prazo, de 4.389,65 para 525,71, conforme ilustrado à figura 7.

Figura 7 – DPMO inicial e final



Fonte: Elaborada pelo Autor

Cria-se um Plano de Controle (Figura 8) para se padronizar as atividades.

Figura 8 – Plano de controle

 PLANO DE CONTROLE DE PROCESSO												
<input type="checkbox"/> Protótipo <input type="checkbox"/> Pré-Lançamento <input type="checkbox"/> PPAP <input checked="" type="checkbox"/> Produção			Nº Controle	CLIENTE	CONTATO PRINCIPAL	DATA 1ª EMISSÃO	REVISÃO	DATA REVISÃO				
Nº DA PEÇA	REVISÃO	DESCRIÇÃO DA PEÇA			CÓDIGO PROD. CLIENTE	CÓDIGO DO PROD. FORNECEDOR	ENGENHARIA DA QUALIDADE					
ELABORADO: Isaac / Isaias DATA: 20/06/2017				VERIFICADO: Isaac / Isaias DATA: 20/06/2017				APROVADO: Isaac / Isaias DATA: 20/06/2017				
ITEM Nº	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	FERRAMENTAS PARA MANUFATURA	CARACTERÍSTICAS			CLASSIF.	MÉTODOS				MÉTODO DE CONTROLE	PLANO DE REAÇÃO
			Nº	PRODUTO	PROCESSO		ESPECIFICAÇÃO DO PROCESSO	AVALIAÇÃO / MEDIÇÃO	TAM.	FREQ.		
1	Medição do diâmetro de alojamento	Gage de coluna AFRXXXX	1	Eixo secundário	Retifica		20,000 min. 20,015 max.	HIC	1 peça	1 peça maquina / turno	Calibrador de Coluna	7

Fonte: Elaborada pelo Autor

6 CONCLUSÃO

Por meio de análise do processo e de suas variáveis, foi possível se executar uma grande melhoria em níveis de capacidade e em retorno financeiro para a empresa. Mesmo não se eliminando totalmente a não-conformidade, o projeto foi bem-sucedido, comprovando a eficácia da metodologia Seis Sigma, reduzindo os índices de refugo de 0,44% para 0,052%, e obtendo-se uma economia de R\$ 44.000, reduzindo-se os gastos com descarte de produtos não conformes, que eram de R\$ 50.000,00, para R\$ 6.000,00 reais, com tendências a se obter novas reduções, ao serem exploradas as outras causas que, nas próximas etapas, deverão ser adequadamente priorizadas, repetindo-se o mesmo processo.

REFERÊNCIAS

AEHQ. **Six Sigma Process for Automotive Manufacturing**. 2014. Disponível em: <<http://www.automotiveengineeringhq.com/six-sigma-process-automotive-manufacturing/>>. Acesso em: 14 maio 2017.

ANDRADE, Alan Saluto de. **Elementos orgânicos de máquinas**. 2015. <<http://docslide.com.br/documents/elementos-organicos-de-maquinas-ii.html>>. Acesso em: 11 maio 2017.

ANTONY, J., BANUELAS, R. Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. **Measuring Business Excellence**, v.6, n.4, p.20-27, 2002.

BATTESTIN, Lucas Mariano. **Redução no índice de rejeitos de produção de mangueiras flexíveis utilizando a metodologia Seis Sigma**. Monografia – Universidade de Taubaté. Taubaté, 2016.

BOSCH, R. **Manual de Tecnologia Automotiva**. 25 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

CLETO, Marcelo Gechele; QUINTEIRO, Leandro. Gestão de projetos através do DMAIC: Um estudo de caso na indústria automobilística. **Revista Produção Online**, v.11, n.1, p. 210-239, mar., 2011.

DUPPRE, Thais C.; CORBINE, Renata S.; FRANCISCATO, Lucas S.; CORRER, Ivan. **Aplicação de ferramentas da qualidade visando a redução dos índices de refugo de peças: pesquisa-ação em uma empresa do setor de autopeças.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Fortaleza, p.2, out. 2015.

FRANCKLIN, A. R. **Um breve estudo sobre ferro fundido modular.** Trabalho de Graduação – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste. Rio de Janeiro, 2009.

FIGUEIREDO, T. G. **Metodologia seis sigma como estratégia para redução de custos: estudo de caso sobre a redução de consumo de óleo sintético na operação de usinagem.** Monografia – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 1991

KUMAR, Y.; SINGH, Y.; CHAUHAN, D. *To Reduce the Rejection of Clamp for Muffler Component at Punching Stage During Manufacturing.* **International Journal of Advanced Mechanical Engineering**, v.4, n.3. p.357-364, 2014.

LEMOS, G. V. B. **Análise de Tensões Residuais em Eixos Automotivos do Aço DIN 38B3 Temperados por indução.** Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas.** 10 ed. São Paulo: Érica 2012.

MOURA, R. M. de. *Análise dimensional na rota de fabricação de eixos automotivos sob a influência de tensões residuais*. **XXIV Salão de Iniciação Científica**, Porto Alegre, out. 2012.

MUNK, JARED. **How six sigma has improved the automobile industry**. 2013. Disponível em: <<http://www.sixsigmadaily.com/how-six-sigma-has-improved-the-automobile-industry/>>. Acesso em: 14 maio 2017.

PANAZZO, R. **Seis Sigma**: uma ferramenta em busca do defeito zero. 2009. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/producao-academica/6-sigma-historia-e-aplicacao/1758/>>. Acesso em: 29 abril 2017.

PANDE, S. **Estratégia Seis Sigma**: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

QUINELLO, R. Processo de Institucionalização do seis sigma em uma empresa automobilística 2005. **Revista de Administração Mackenzie**. V.7, n.3, p.148-178, jan., 2005.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa - ação**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1986.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo, desenvolvendo qualidade padrão Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

ROTONDARO, R. G. **Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços: seis sigma.** São Paulo: Atlas, 2002.

SANTOS, Tiago Henrique. **Aplicação do Lean Seis Sigma na redução do índice de refugo e retrabalho em uma empresa de isolamento acústico e térmico para a indústria automobilística.** Monografia – Universidade de Taubaté. Taubaté, 2016.

SCHRAMM, W. **Notes on case studies of instructional media projects.** Working paper – The Academy for Educational Development. Washington, DC. 1971.

WALTER-TOOLS. **Flyer Automotive.** Disponível em: <<http://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/brochures/en-gb/flyer-automotive-en.pdf>>. Acesso em: 11 maio 2017.

WANDERLEY, João. **Trabalho de Elementos de Máquinas: Projeto de Eixo.** Monografia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.