

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**DANILO APARECIDO DE ALMEIDA**  
**MIHON MITSUO IKEJIRI**

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MSA**  
**(MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS) EM UMA**  
**SIDERURGICA**

**Taubaté - SP**  
**2018**

**DANILO APARECIDO DE ALMEIDA  
MIHON MITSUO IKEJIRI**

**ESTUDO PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MSA  
(MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS) EM UMA  
SIDERURGICA**

Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia de Produção  
Mecânica do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade de  
Taubaté.

Orientador(a): Prof. Me FABIO HENRIQUE  
FONSECA SANTEJANI

Coorientador(a): Prof. Me IVAIR DOS  
SANTOS

**Taubaté – SP**

**2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

I264e Ikejiri, Mihon Mitsuo  
Estudo para aplicação da ferramenta MSA (Measurement Systems Analysis) em uma siderúrgica / Mihon Mitsuo Ikejiri; Danilo Aparecido de Almeida. -- 2018.  
44 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.  
Orientação: Prof. Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani, Departamento de Engenharia Elétrica.  
Coorientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Controle de processo. 2. Estatística. 3. Sistema de medição. I. Título. II. Almeida, Danilo Aparecido de. III. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

CDD – 658.5



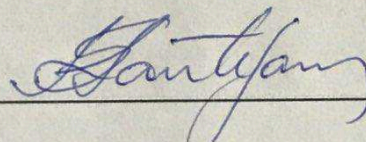
DANILO APARECIDO DE ALMEIDA

MIHON MITSUO IKEJIRI

ESTUDO PARA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MSA (MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS) EM  
UMA SIDERURGICA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECANICA"

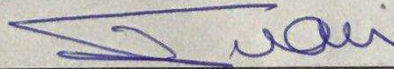
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Professor Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani

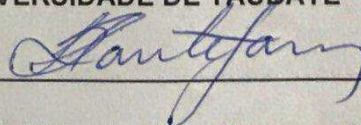
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Professor Me. Ivair Alves dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Professor Me. Fábio Henrique Fonseca Santejani

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha esposa Andressa e minhas filhas Isabella e Letícia.

Danilo Aparecido de Almeida

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos esse Trabalho de Graduação aos nossos pais, principalmente pelos valores que sempre buscaram nos ensinar ao longo da vida, pela dedicação irrestrita e incondicional e pelo exemplo de caráter e simplicidade.

Mihon Mitsuo Ikejiri

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço por nossa vida, nossa inteligência, nossa família e nossos amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

Ao meu orientador, *Prof. Msc Fábio Henrique Fonseca Santejani* por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais Junichiro e Marcia, Carlos e Ana, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

Aos Professores, *Msc. Ivair Alves dos Santos* e *Msc Fábio Henrique Fonseca Santejani* por aceitarem compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Abra os olhos para ver o muro em que você estagnou  
E a partir daí, crie uma nova engenharia de pensamentos  
para enxergar além desse muro, e assim, terás novas perspectivas”

(Maurício Nuper)



## RESUMO

Para obter o controle concreto dos processos de uma indústria, a confiabilidade dos dados colhidos e gerados pelos sistemas de medição é um fator de grande importância. A utilização de ferramentas de MSA (Measurement System Analysis) permite o conhecimento de fontes de variação e permite também verificar se os sistemas de medição possuem características estatísticas compatíveis com as especificações do produto. O trabalho trata o MSA como ferramenta no controle de processo produtivo de uma siderúrgica, descreve os métodos de análise que serão utilizados e o modelo adotado. Um sistema de medição (composto por instrumentos, operadores, ambiente, peças, etc.) sofre a influência de diversos fatores quando da realização de uma medição, o que faz com que seja difícil afirmar se é correta uma leitura obtida.

**Palavras-chave:** MSA, Gage R & R, ANOVA, estatística, controle de processos.

## **ABSTRACT**

To obtain concrete control of the processes of an industry, the reliability of the data collected and generated by the measurement systems is a factor of great importance. The use of MSA (Measurement System Analysis) tools allows knowledge of variation sources and allows verifying if the measurement systems have statistical characteristics compatible with the specifications of the product. The work treats the MSA as a tool in the control of the productive process of a steel mill, describes the methods of analysis that will be used, and the model adopted. A measurement system (composed of instruments, operators, environment, parts, etc.) is influenced by several factors when performing a measurement, which makes it difficult to say if a reading obtained is correct.

**KEYWORDS:** MSA, Gage R & R, ANOVA, statistics, process control.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 Repetibilidade .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 Reprodutibilidade .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3 Equação da Repetibilidade .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 4 Equações.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 Variação do medidor .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6 Fluxograma Decisão Carta de Controle .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7 Imagem Ilustrada do micrômetro .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 8 Gráfico das medidas.....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 9 Fórmula dos limites de controle.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 10 – Gráfico das Médias .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 11 – Gráfico de Variação do Processo .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 12 – Gráfico de Variação do Instrumento .....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1 Fórmulas Aplicáveis à Carta de Controle.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabela 2 Constantes Aplicáveis .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 3 Valores do processo .....</b>	<b>35</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ISO**      **International Organization for Standardization.**

**ASTM**    **(American Society for Testing and Materials).**

**MSA**      **(Measurement System Analysis).**

**ISO/TS 16949**      **(International Organization for Standardization, ou Organização Internacional para Padronização /Technical Specification, ou Especificação Técnica).**



## LISTA DE SÍMBOLOS

R&R	Reprodutibilidade & Repetibilidade;
$\sigma$	sigma;
$\mu$	Mi;
LSE	Limite Superior Específico;
LIE	Limite Inferior Específico;
$\sigma$	Varição do medidor;
$\emptyset$	Bitola;
$\bar{X}$	Média das médias;
$\bar{R}$	Média das Amplitudes;
$\Sigma$	Somatória;

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	17
1.1	OBJETIVO.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Definição dos equipamentos e pessoas .....	19
2.2	Coleta de dados.....	19
2.3	Análise dos dados.....	19
2.4	Implementação de correções.....	19
2.5	Nova análise estatística .....	20
2.6	Apresentação dos resultados .....	20
2.7	Terminologia MSA .....	20
3	Metodologia .....	26
3.1	Observações.....	26
3.2	Hipóteses.....	26
3.3	Experimentações .....	27
3.4	Indução .....	27
3.5	Dedução .....	27
3.6	Análise e Síntese .....	27
3.7	Teoria.....	28
3.8	Doutrina .....	28
4	DESENVOLVIMENTO .....	29
4.1	Processo de medição .....	29
4.2	Execução .....	30
4.3	Equipamentos.....	32
5	RESULTADOS .....	34
5.1	Procedimento para obtenção dos resultados.....	34

5.2 Análise gráficas.....	35
5.3 Interpretação do gráfico .....	37
5.4 Gráfico de Amplitude .....	37
5.5 Interpretação gráfica .....	38
5.6 Cálculos numéricos.....	38
5.7 Fórmulas.....	40
6 CONCLUSÃO .....	41
REFERÊNCIAS .....	42







## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com (DEMING, 1990), não é de hoje que o tema “medição de desempenho” (com este nome literal ou termos correlatos) está presente nas publicações de gestão. A intenção por trás das célebres frases “não se gerencia o que não se mede” ou “medir é importante: o que não é medido não é gerenciado (KAPLAN; NORTON, 1997).

Segundo (MARIOTTI, 2000), uma segunda armadilha se refere ao pensamento de que “é importante controlar somente os processos de produção”. Este raciocínio traz consigo a problemática envolvendo a relação de causa-efeito entre indicadores. Embora a visão sistêmica e pensamento complexo versem sobre a inexistência de fenômenos de causa única, e que toda ação resulta em efeitos colaterais.

Segundo o Manual de MSA da QS-9000 (1997): “Sistema de Medição é o conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, software e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida; o processo completo usado para obter as medidas” (p.4).

Segundo Luiz Silva (2002), apesar das diferenças possíveis, existem algumas propriedades estatísticas que todos os sistemas devem ter:

- o sistema de medição deve estar sob controle estatístico, o que significa que a variação no sistema é devida somente a causas comuns e não a causas especiais;
- a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena se comparada com a variabilidade do processo de manufatura;
- a variabilidade do sistema de medição deve ser pequena quando comparada com os limites de especificação;
- os incrementos de medida devem ser pequenos em relação ao que for menor entre a variabilidade do processo ou os limites de especificação.

## **1.1 OBJETIVO**

Esse trabalho pretende apresentar e acompanhar o emprego de diretrizes de avaliação da qualidade de um sistema de medição em um projeto de MSA da produção em uma siderúrgica.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A qualidade e padronização são inerentes a qualquer processo produtivo. O sistema de medição das variáveis desses processos é a maneira mais empregada atualmente para o controle desses requisitos. Para que haja um controle efetivo das características de qualidade, é preciso garantir que a obtenção dos dados não esteja sendo dada de maneira equivocada. Os custos envolvidos com esse acompanhamento, como interrupção da produção e perdas de material devem ser superados pela garantia da qualidade do produto acabado e da prevenção de problemas futuros maiores, como devoluções e danos ao cliente. Dessa forma, os estudos de Análise do Sistema de Medição são importantes para a garantia da consistência nos processos produtivos no sentido de avaliar a influência dos erros de medição na qualidade das decisões tomadas a partir dos dados coletados.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

De acordo (MP da Fonseca - 2008), o aspecto da análise do sistema de medição poderá se tornar obscura e malconduzida se não for esclarecido um conjunto de adjacências estabelecido para descrever as propriedades estatísticas comuns e os elementos do sistema de medição associados. (MP da Fonseca - 2008).

### **2.1 DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E PESSOAS**

Identificado o processo a ser analisado, é preciso definir os recursos necessários para o estudo. Esse processo deve ser planejado, pois compromete a produção, que deverá ser interrompida por um período, além de gerar perdas de materiais no caso de testes destrutivos (MP da Fonseca - 2008).

### **2.2 COLETA DE DADOS**

Elaboração de uma folha de verificação adequada para a coleta das medições de todos os equipamentos e operadores envolvidos (FP de Souza Coelho - 2016).

### **2.3 ANÁLISE DOS DADOS**

Depois de colhidas as informações necessárias, será realizada uma análise estatística dos dados. Através dos mesmos serão identificadas as variações (MP da Fonseca - 2008).

### **2.4 IMPLEMENTAÇÃO DE CORREÇÕES**

Nessa etapa, todas as variações em equipamentos, pessoas, meio-ambiente, método, padrão e peça devem ser corrigidas através de calibrações e treinamentos, eliminação das interferências ambientais, assim como métodos, padrões e peças devem ser revistos (MP da Fonseca - 2008).

## 2.5 NOVA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Depois de feitas todas as alterações necessárias serão realizadas uma nova coleta de dados e análise estatística para a verificação dos resultados. Caso as medidas não tenham solucionado todas as variações, novos treinamentos e calibrações deverão ser implementados (MP da Fonseca - 2008).

## 2.6 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a garantia de padronização do processo de medição, os resultados serão apresentados graficamente e seus benefícios serão relacionados (MP da Fonseca - 2008).

## 2.7 TERMINOLOGIA MSA

O estudo de R&R, uma vez que, “para se tomar decisão no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa é necessário se basear em dados, que muitas vezes são resultantes da realização de medições” (WERKEMA, 2000, 2 p. 9).

Um sistema de medição é o processo completo para se obter as medidas, sendo constituído pelo conjunto de operações, instrumentos de medição, dispositivos, software e pessoas, usados para atribuir um valor ao que está sendo medido.

Para que haja controle efetivo das características de qualidade é preciso garantir que o sistema de medição seja confiável. Além de se ter um instrumento de medição perfeitamente calibrado é necessário também determinar a capacidade do sistema de medição (SM) e diferenciar a variabilidade da medida originada no objeto de medição daquela causada pelo sistema de medição (MONTGOMERY, 2004).

Segundo Werkema (2006) os principais fatores responsáveis pela variabilidade dos processos de medição são: instrumento de medição com desgaste; procedimentos de medição inadequados; avaliadores não treinados; aparelho de medição não calibrado e condições ambientais inadequadas como temperatura, umidade e iluminação. “Quando a medição passa a ser visualizada como um processo sujeito à variabilidade e, portanto, há incertezas, é imediato perceber a necessidade da quantificação das fontes de variações associadas à medição (WERKEMA, 2006, p. 15).

A variabilidade observada em mensurações será devida à soma da variabilidade do próprio produto e parte decorrerá da variabilidade do medidor, como indicado na Equação (1), “onde é a variabilidade total observada, é a componente da variabilidade devida ao produto e é a variabilidade devida ao erro de mensuração” (MONTGOMERY, 2004, p. 237).

Considera-se medidor ou sistema de medição o conjunto analista e instrumento / método de medição, a que vemos na equação (1) de acordo com (MONTGOMERY, 2004).

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{processo}} + \sigma^2_{\text{medidor}} \quad (1)$$

Considerando a variabilidade do medidor é possível fazer a avaliação dos dois componentes envolvidos na medição chamados de repetibilidade e reprodutibilidade ou estudo R&R, conforme demonstrado na Equação (2), (MONTGOMERY, 2004).

$$\sigma^2_{\text{medidor}} = \sigma^2_{\text{repet.}} + \sigma^2_{\text{reprod.}} \quad (2)$$

A variabilidade, ou, a precisão do medidor, pode ser estimada através da Equação (3), onde é um fator de correção, tabelado em função do número de vezes em que um mesmo item resultante do processo produtivo é medido R é a média das amplitudes, conforme a equação (3), (WERKEMA, 2000, p. 26).

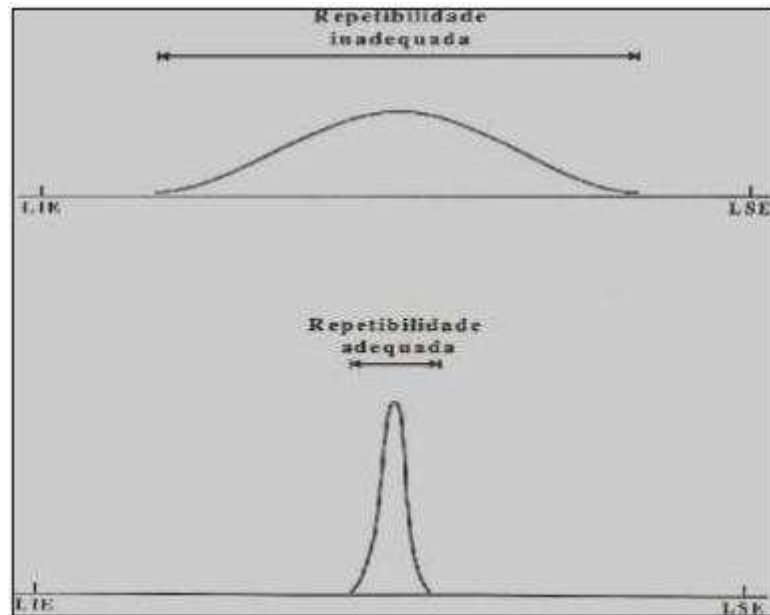
$$\sigma_{\text{repetibilidade}} = R/d2 \quad (3)$$

Sendo assim, um método de análise de sistemas de medição comumente utilizado na indústria é estudo de repetibilidade e reprodutibilidade (R&R).

Werkema (2000, p. 16) afirma que repetibilidade de um instrumento de medição é a variação nas medidas obtidas quando um mesmo operador ou laboratório utiliza o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens.” Pode se dizer então que repetibilidade é a variação dentro do sistema, pois as condições são as mesmas. A repetibilidade caracteriza o erro aleatório, devido a causas comuns, com distribuição normal dos resultados do SM como representado na FIGURA 1.



**Figura 1 Repetibilidade**

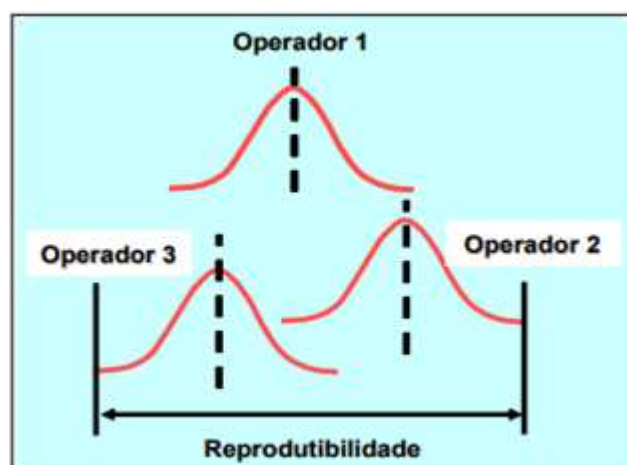


Fonte: Werkema (2000, p. 17)

A reprodutibilidade de um sistema de medição é a variação na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o mesmo instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens (WERKEMA, 2000, p. 19).

A reprodutibilidade tem a finalidade de estudar a variação das médias entre sistemas ou entre condições de medição, conforme mostra a FIGURA 2.

**Figura 2 Reprodutibilidade**



Fonte: Albertazzi & Sousa (2010, p.18)

Segundo Albertazzi & Sousa (2010), o estudo de repetibilidade possui as seguintes características:

a) tem condições de avaliar a variabilidade natural do processo de medição realizado nas mesmas condições.

b) se refere a medições repetidas da mesma amostra, realizadas pelo mesmo operador, e em um curto período.

c) a amostra é retirada e reposicionada no sistema de medição entre as medições Reprodutibilidade Operador 1, Operador 2 e Operador 3 em 4 repetidas.

d) a repetibilidade pode ser estimada a partir do desvio padrão das medições repetidas.

Já o estudo de reprodutibilidade, segundo Albertazzi & Sousa (2010), apresenta as seguintes características:

a) tem condições de avaliar a variabilidade natural do processo de medição quando realizada em condições variadas que espelham a realidade do processo de medição.

b) é referente a medições com distintos operadores e pode envolver períodos mais longos e variações ambientais típicas do processo de medição.

c) as médias globais das medições feitas por cada operador serão significativamente diferentes quando há influência significativa do operador.

d) A carta de controle das médias é usada.

e) A reprodutibilidade pode ser estimada a partir do desvio padrão da mistura das medições repetidas de todos os operadores. O cálculo da repetibilidade do medidor é feito a partir das amplitudes médias, sendo relacionado à quantidade de operadores e suas medições conforme indicado na Equação (4), onde é um fator de correção, tabelado em função do número de vezes em que um mesmo item resultante do processo produtivo é medido e  $\bar{m}$  é a média das amplitudes, segundo (MONTGOMERY, 2004) e conforme a FIGURA 3.

**Figura 3 Equação da Repetibilidade**

$$\hat{\sigma}_{\text{repetibilidade}} = \frac{R}{d_2} \quad (4)$$

**Fonte: (MONTGOMERY, 2004)**

A reprodutibilidade do medidor quantifica a variabilidade resultante quando diferentes operadores realizam a medição. Quando todos os operadores medem as mesmas peças e os valores obtidos referentes à média das médias  $\bar{\bar{X}}_1$  diferem entre si, a explicação para este fato é a existência de diferença entre os operadores. Portanto, para estimar a reprodutibilidade do medidor são dadas as Equações (5), (6), (7) e (8), onde  $\bar{\bar{X}}_{máx}$  é o maior valor da média das médias,  $\bar{\bar{X}}_{min}$  é o menor valor da média das médias,  $R_{\bar{X}}$  é a amplitude da amostra e  $\hat{\sigma}$  é a componente da variância devido à reprodutibilidade, de acordo com a FIGURA 3.

**Figura 4 Equações**

$$\bar{\bar{X}}_{máx} = máx(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3 \dots) \quad (5)$$

$$\bar{\bar{X}}_{min} = min(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3 \dots) \quad (6)$$

$$R_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}_{máx} - \bar{\bar{X}}_{min} \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}_{reprodutibilidade} = \frac{R_{\bar{X}}}{d_2} \quad (8)$$

**Fonte:** (MONTGOMERY)

Para análise dos resultados, é frequente a utilização da comparação da capacidade do medidor com a faixa de especificação do objeto a ser medido. A percentagem da tolerância ou relação P/T é a razão entre seis desvios padrão do erro do medidor ( $6\hat{\sigma}_{medidor}$ ) e o intervalo entre o limite superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LIE), como 5 demonstra a Equação (9). Quanto menor o valor, mais adequada está a capacidade do medidor, de acordo com a FIGURA 4.

**Figura 5 Variação do medidor**

$$\frac{P}{T} = \frac{6\hat{\sigma}_{medidor}}{LSE - LIE} \quad (9)$$

**Fonte:** (MONTGOMERY, 2004)

Considerando a regra geralmente utilizada que o instrumento de medição deve ser calibrado em unidades de um décimo da tolerância, o valor P/T deve ser próximo a 10%. Esta é uma regra prática, mas é mais coerente buscar valores que permitam ao analista tomar a decisão correta (MONTGOMERY, 2004).

O IQA (1997) considera os seguintes resultados para a relação P/T:

a) abaixo de 10%: sistema de medição considerado aceitável.

b) de 10% a 30%: pode ser aceitável dependendo da importância da aplicação, levando em consideração custo do dispositivo de medição, custo dos reparos, etc.

c) Acima de 30%: o sistema de medição precisa ser melhorado. O estudo de R&R pode ser aplicado para diversas finalidades, como por exemplo, verificar a confiabilidade das medições nas condições de produção, ser utilizado como critério de aceitação de novos sistemas de medição (SM) ou para comparar diferentes SM nas condições de uso, investigar um SM sob suspeita de mau funcionamento e para comparar o desempenho de um mesmo SM antes e após regulagem (ALBERTAZZI & SOUSA, 2010).

### 3 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho as seguintes etapas serão seguidas:

- Pesquisa bibliográfica:

O MSA envolve um procedimento específico que quando não conhecido, pode interferir nos resultados obtidos. O conhecimento do procedimento empregado pela empresa, bem como das ferramentas estatísticas necessárias é de fundamental importância antes do início do projeto;

- Identificação do foco:

Através do registro de não-conformidades recorrentes é possível determinar aonde se encontram as principais falhas de controle, dessa forma, determina-se o foco da análise do sistema de medição;

- Elaboração do cronograma:

Um cronograma com as etapas e seus respectivos prazos é elaborado com a finalidade de garantir que nenhuma tarefa será ignorada e que o andamento estará seguindo conforme o planejado.

#### 3.1 OBSERVAÇÕES

Observar é de extrema importância, é da observação que deriva de todos os outros processos, através da observação é possível aplicar a definição de um objeto, adquirindo um conhecimento exato (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4º EDIÇÃO).

#### 3.2 HIPÓTESES

Para Meyerson as hipóteses têm valores próprios que claramente correspondem a algo de essência na própria natureza. Pode-se obter a hipótese deduzindo resultados ou fazendo experimentos, e quase não há regras para a descoberta de uma hipótese, porém as hipóteses são geradas através de gênios científicos.

### **3.3 EXPERIMENTAÇÕES**

O processo de experimentação basicamente é a forma de apurar as hipóteses, ou seja, estabelece um vínculo de causa e efeito ou até mesmo de antecedente e conseqüente entre dois eventos, logo corresponde de descobrir se há variação em Y toda vez que faz-se variar X. (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4° EDIÇÃO).

### **3.4 INDUÇÃO**

O que se pensa deriva da realidade, e é produto de experimentos, o ato de pensar é configurado por ser natural e espontâneo, por sua vez a reflexão configura de esforço e concentração. (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4° EDIÇÃO).

### **3.5 DEDUÇÃO**

É o fundamento que mostra a verdade particular dentro de verdades universais, seu ponto inicial é o antecedente e o ponto final é o conseqüente. Consiste em formar estruturas lógicas diante da relação entre hipótese e tese. Em outras palavras dedução pode levar a quem pesquisa do conhecido ao desconhecido onde praticamente não exista margem de erro, logo a dedução muitas vezes não percebe seu real significado, e para ser desfeita essa má impressão, observa-se por exemplo os procedimentos matemáticos, uma vez que seus argumentos, são basicamente dedutivos. (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4° EDIÇÃO).

### **3.6 ANÁLISE E SÍNTESE**

Para René Descartes a análise é o procedimento que parte do mais profundo para o menos profundo e a síntese parte do mais compreensível para o menos compreensível. A grande barreira na ciência por sua vez é vencer a complexidade dos objetos e em contrapartida a limitação da inteligência humana, porém a inteligência não é capaz de subtrair a complexidade das ideias, de seres e fatos, relações de causa e efeito e relações de antecedente e conseqüente. Sem a análise todo aprendizado se torna confuso e superficial, sem a síntese tudo se torna por sua vez incompleto.

### 3.7 TEORIA

A teoria é o contrário da prática, teoria refere-se ao conhecimento, a prática refere-se à ação, juntas não se contestam com as leis, e sim procuram explicá-las. Daí surgem as teorias científicas, estabelecendo número de leis particulares de forma a ser uma lei superior e universal, a teoria é o resultado também dos trabalhos filosóficos e científicos. A teoria é diferente da hipótese, sendo que a hipótese é algo experimental e a teoria não, a teoria se integra ao mundo conhecido, a hipótese comprova sua verdade através de experimentos, a teoria é algo de interpretação, a hipótese é explicação das leis naturais. Sendo assim a teoria é algo unificador do saber científico que possibilita novas descobertas. (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4º EDIÇÃO).

### 3.8 DOCTRINA

A ciência tem o objetivo de explicar os acontecimentos desconhecidos, para isso observa-se, analisa-se, gera hipóteses e as estuda de confronto com os fatos obtidos pela experimentação, situando-as num patamar mais amplo, através das teorias. Em uma doutrina existem ideias morais, posições filosóficas e políticas e atitudes psicológicas, a doutrina é então uma junção de correntes, formas de pensar que não se delimitam em apenas constatar e explicar os acontecimentos, a doutrina também se localiza na divisão dos problemas de espírito e de fatos, permitindo assim perceber a síntese. (A.L. CERVO, P.A. BERVIAN, 4º EDIÇÃO).

## 4 DESENVOLVIMENTO

Tendo visto e pesquisado sobre a importância de se manter competitivo no mercado acirrado que é o setor automotivo, a empresa de siderurgia que aplicamos o MSA trabalha incansavelmente para a manutenção da certificação de qualidade.

Fazendo parte do trabalho de formiguinha e extremamente importante, identificamos no setor final que fornece o arame calibrado para empresas que transformam em peças para o ramo automotivo, tais como porcas e parafusos.

O arame calibrado de  $\varnothing$  (bitola) nominal de 15,650 mm foi o escolhido para o experimento, devido a apresentar muitos problemas de paradas no equipamento do cliente, devido à tolerância muito apertada (de + ou - 0,020 mm) e liga do aço única e exclusiva para um cliente. A receita desta bitola é alta e significativa para a organização, pois se trata de uma bitola patenteada.

### 4.1 PROCESSO DE MEDIÇÃO

Antes de efetivamente gerenciar a variação de um processo há a necessidade de se saber a finalidade do mesmo, ter uma previsão das possíveis falhas e o conhecimento do que está sendo feito na realidade. As especificações e os requisitos de engenharia determinam o que o processo deveria estar fazendo. O FMEA (*Análise de Modo e Efeitos da Falha Potencial do Processo*) define o risco associado com as falhas potenciais do processo e propõe ações corretivas antes mesmo que tais falhas aconteçam. O resultado dessa análise é inserido no Plano de Controle, que se trata de um procedimento operacional global abrangendo todas as áreas envolvidas. A avaliação de parâmetros e resultados aumenta o conhecimento sobre como um processo está sendo executado. A atividade de inspeção é o ato de examinar esses parâmetros, peças em processamento, subconjuntos montados, ou produtos fabricados com aparatos de medição que capacitam o observador a confirmar ou negar a premissa de que o processo está operando de maneira estável e com variação aceitável. Essa atividade já é em si um processo.



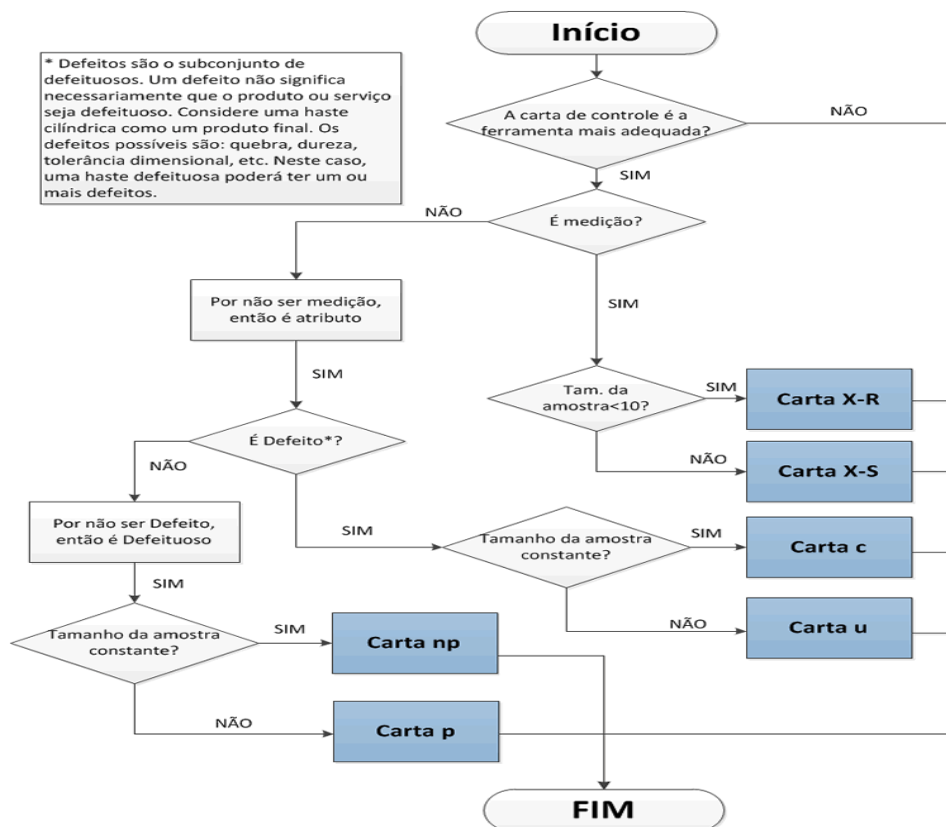
A atividade de medição e análise é um processo e sobre ele podem ser aplicadas todas as técnicas de controle: gerencial, estatística e lógica.

Analisando o fluxograma para definir qual o tipo de carta de controle aplicar, chegamos na conclusão em utilizar a de variável, a mais adequada ao processo de medição do estudo.

## 4.2 EXECUÇÃO

Utilizamos a carta de controle que é sem dúvida a ferramenta capta melhor as informações de um processo. A carta de controle é utilizada para determinar se o processo está operando em controle estatístico e basicamente é representada por um gráfico em execução que inclui estatisticamente limites de controle superior e inferior. Será apresentado como as cartas de controle podem contribuir para aperfeiçoar o processo de fabricação.

Figura 6 Fluxograma Decisão Carta de Controle



Utilizamos os dados coletados pelo MSA (*Análise dos Sistemas de Medições*) deste trabalho, relacionando-os com as fórmulas das variáveis da TABELA 1, e as constantes da TABELA 2. Para a construção das cartas de controle por variáveis, a análise deve ser feita aos pares, observando a centralização e a dispersão. Sendo assim, dois gráficos são construídos para cada tipo:

- Gráfico de média e o de desvio padrão (X – S);
- Gráfico de média e o de amplitude (X – R);

Abaixo na TABELA 1 pode ser observado um resumo passo a passo de como construir uma carta de controle.

**Tabela 1 Fórmulas Aplicáveis à Carta de Controle**

	X - S	X - R
1	k = qtd amostras n = tamanho amostra, n = cte k * n >= 100	k = qtd amostras n = tamanho amostra, n = cte k * n >= 100
2	$\bar{X}_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n}{n}$	$\bar{X}_i = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n}{n}$
3	$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots \bar{x}_k}{k}$	$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots \bar{x}_k}{k}$
4	$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	$r = x_{\max} - x_{\min}$ $x_{\max}$ = valor máximo encontrado amostra $x_{\min}$ = valor mínimo encontrado amostra
5	$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots sk}{k}$	$R = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots r_k}{k}$
6	LSC = $\bar{\bar{X}} + A_3 * \bar{s}$ LIC = $\bar{\bar{X}} - A_3 * \bar{s}$	LSC = $\bar{\bar{X}} + A_2 * R$ LIC = $\bar{\bar{X}} - A_2 * R$
7	LSC = $B_4 * \bar{s}$ LIC = $B_3 * \bar{s}$	LSC = $R * D_4$ LIC = $R * D_3$

Fonte: <https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle/>

Tabela 2 Constantes Aplicáveis

n	Médias		Desvio-padrão		Amplitudes	
	A2	A3	B3	B4	D3	D4
2	1,88	2,659	0	3,267	0	3,267
3	1,023	1,954	0	2,568	0	2,574
4	1,729	1,628	0	2,266	0	2,282
5	0,577	1,427	0	2,089	0	2,114
6	0,483	1,287	0,03	1,97	0	2,004
7	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924
8	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	0,864
9	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816
10	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777
11	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,744
12	0,266	0,888	0,354	1,646	0,283	1,717
13	0,249	0,85	0,382	1,618	0,307	1,693
14	0,235	0,817	0,406	1,594	0,328	1,672
15	0,223	0,789	0,428	1,572	0,347	1,653
16	0,212	0,763	0,448	1,552	0,363	1,637
17	0,203	0,739	0,466	1,534	0,378	1,622
18	0,194	0,718	0,482	1,518	0,391	1,608
19	0,187	0,698	0,497	1,503	0,403	1,597
20	0,18	0,68	0,51	1,49	0,415	1,585
21	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575
22	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566
23	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557
24	0,157	0,619	0,555	1,445	0,451	1,548
25	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541

Fonte: <https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle/>

### 4.3 EQUIPAMENTOS

No MSA do experimento o instrumento utilizado foi o “Micrômetro Externo Digital Capacidade 0-25mm Resolução 0,001mm Mitutoyo” que está calibrado pela empresa com vencimento em (06 -2019).

Figura 7 Imagem Ilustrada do micrômetro



Fonte: [www.americanas.com.br/produto/8713394/micrometro-externo-digital](http://www.americanas.com.br/produto/8713394/micrometro-externo-digital)

Conforme procedimento de produção do setor de estudo, os operadores são capacitados e treinados para a realização da atividade de medição da bitola do arame calibrado. O operador inicia o processo realizando o setup com a primeira medição, e a cada 2 horas durante o turno de 8 horas, ou seja, 4 vezes no turno.

Fatores que influenciam no momento da medição é a limpeza da superfície e a temperatura do arame calibrado, limpeza e calibração com padrão do micrômetro. E a questão de sensibilidade e manuseio do operador também influenciam na qualidade da medição.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

- Selecionar 8 peças que representem a atual ou esperada variação do processo de fabricação;
- Selecionar 3 avaliadores que normalmente executam a medição;
- Conduzir as medições aleatoriamente (mudando a ordem das peças e\ou identificando as peças de maneira que o avaliador não consiga identificar);
- Realizar 2 ou 3 reaplicações;
- Realizar os cálculos;
- Apresentar graficamente as médias e amplitudes;
- Calcular a média e amplitude para cada avaliador;
- Calcular a média por peça e a média total de peças.

Tabela 3 Valores do processo

Operador A	$\bar{X}'_a$	Operador B	$\bar{X}'_b$	Operador C	$\bar{X}'_c$
$X_a$	15,6505	$X_b$	15,6753	$X_c$	15,6552
	mm		mm		mm
15,655	$R'_a$	15,685	$R'_b$	15,648	$R'_c$
15,662		15,693		15,650	
15,630		15,662		15,657	
15,648	$EV_a$	15,632	$EV_b$	15,661	$EV_c$
15,626		15,670		15,624	
15,636		15,661		15,672	
15,692		15,697		15,680	
15,655		15,703		15,650	
	0,025		0,043		0,031
	0,01447		0,02562		0,01846

$X_a$  Valor da medida em ( mm )

$R'_a$  Valor da Amplitude

$EV_a$  Variação do processo

$\bar{X}'_a$  Média da média

Fonte: Os Autores

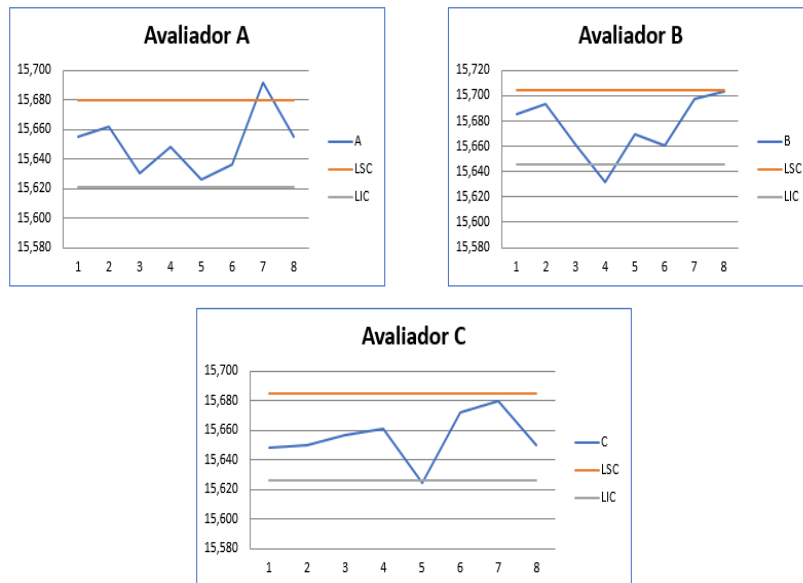
## 5.2 ANÁLISE GRÁFICAS

### O gráfico das médias

As medidas das peças para cada avaliador, auxiliam na determinação da consistência entre avaliadores. Estes gráficos esclarecem e informam sobre a “possibilidade de uso “do sistema de medição.

A área ente o limite de controle representa a sensibilidade da medição (ruído). Estes gráficos apresentam a variação do sistema em comparação com a variação do processo (sistema de produção), conforme Figura 5.

**Figura 8 Gráfico das medidas**



**Fonte: Os Autores**

Este gráfico auxilia na verificação do controle estatístico com respeito à repetitividade e a consistência do processo de medição entre avaliadores para as peças, de acordo com a Figura 9.

### **5.3 INTERPRETAÇÃO DO GRÁFICO**

Sistema APROVADO: 50% ou mais pontos acima ou abaixo dos limites de controle;

Sistema REPROVADO: menos de 50% - sistema de medição não dispõe de resolução efetiva, ou a amostra não representa a variação esperada do processo.

### **5.4 GRÁFICO DE AMPLITUDE**

Não importa quão grande possa ser o erro da medição, os limites de controle do gráfico irão incluir estes erros. Portanto, este gráfico é utilizado para verificar se o processo (instrumento) está sob controle estatístico.

Esta é a razão pela qual se torna necessária a identificação e eliminação das causas especiais de variação antes de qualificar um estudo como relevante.



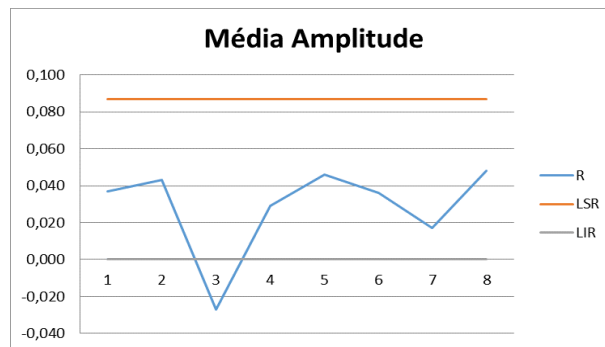
Este gráfico auxilia na verificação do controle estatístico com respeito à repetitividade e a consistência do processo de medição entre avaliadores para as peças, de acordo com a Figura 9.

**Figura 9 Fórmula dos limites de controle**

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{\bar{X}} + A_2 * R \\ \text{LIC} &= \bar{\bar{X}} - A_2 * R \end{aligned}$$

Fonte: : <https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle>

**Figura 10 – Gráfico das Médias**



Fonte: Os Autores

## 5.5 INTERPRETAÇÃO GRÁFICA

Um dos avaliadores com medições fora da área localizada entre os limites de controle: método por ele utilizado difere do método utilizado pelos demais.

Todos os avaliadores com medições foram da área localizada entre os limites de controle: sistema de medição mostra-se sensível à técnica utilizada, portanto, necessita algum aperfeiçoamento para gerar dados confiáveis.

## 5.6 CÁLCULOS NUMÉRICOS

Estima a “variação” e a “porcentagem de variação do processo” para a variação total do sistema de medição e seus componentes: Repetitividade,

Reprodutibilidade, e a variação da peça. Estes resultados complementam a análise gráfica.

O desvio padrão é calculado para cada componente.

Repetitividade => variação do equipamento (EV ou  $\sigma$ )

$$EV = R'' \cdot K1$$

Onde:  $K1 = 1/d2$

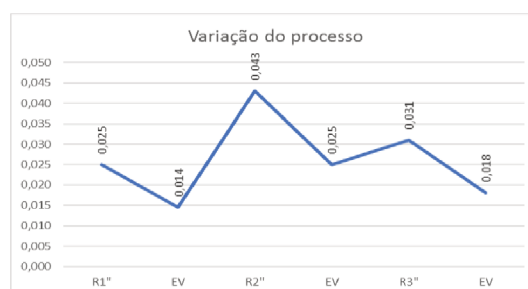
$R''$  é a média das amplitudes médias de cada avaliador.

No relatório do gráfico é mostrado a média da amplitude de cada avaliador.

$K1 = 1 / d2$ , onde  $d2$  é calculado com base no número de avaliadores multiplicado pelo número de peças por avaliador. De acordo com a tabela de constantes aplicáveis. No estudo aplicado deste trabalho, foi utilizado 3 avaliadores e oito peças, o valor de  $d2$  é igual à 1,69257.

O gráfico abaixo mostra a variação do processo estudado, conforme FIGURA 11:

**Figura 11 – Gráfico de Variação do Processo**



**Fonte: Os Autores**

E no gráfico abaixo, mostra a variação do instrumento (micrômetro digital), conforme FIGURA 12:

**Figura 12 – Gráfico de Variação do Instrumento**



**Fonte: Os Autores**

## 5.7 FÓRMULAS

$$\%EV=100*EV/TV$$

Dados do estudo do dispositivo de medição, calculado pela seguinte fórmula:

$$TV=\sqrt{(R\&R)^2+(PV)^2}$$

Se a variação do processo de produção é conhecida e seu valor está baseado em  $6\sigma$ , então este valor pode ser usado na substituição na variação total (TV) calculada a partir dos dados do estudo do dispositivo de medição. Isto pode ser realizado por meio de duas fórmulas, conforme Tabela 4

## 6 CONCLUSÃO

Através da análise dos dados obtidos pelo MSA (*Análise do Sistema de Medição*), é possível verificar um controle do processo estatístico através do gráfico que executa os limites superiores e inferiores baseando-se nas informações coletadas.

A partir de então foi possível a realização do processo de identificar falhas na operação dos testes e promover a padronização de seus procedimentos, além disso, esse estudo pode estabelecer uma maior conscientização por parte de todos os colaboradores envolvidos, que participaram diretamente do processo de controle e puderam observar melhorias significativas em seus trabalhos.

Um passo futuro e de extrema importância será a utilização de estudos de linearidade e vício. Além deles, a redução do critério de aceitação em busca da melhoria contínua.

A Análise do Sistema de Medição, também conhecida pela sigla MSA, trata-se de uma ferramenta nova de qualidade, que possibilita conhecer os pontos de possíveis falhas e repará-las com eficiência, no entanto, quando adotada com seriedade, pode representar grandes vantagens em termos de custos, produtividade e qualidade de produtos em questão. Essa ferramenta também é uma forte aliada a validação de processos e projetos como o Seis Sigma, podendo estender os resultados obtidos e validar as operações relacionadas ao controle de qualidade do processo em questão.

É importante também ressaltar que a maior dificuldade encontrada no projeto foi promover a disponibilidade por parte dos avaliados envolvidos, visto que é necessária uma grande quantidade de testes repetitivos. Durante o desenvolvimento sobre o estudo, os resultados de cada etapa foram mostrados ao grupo como forma de incentivá-los a otimizar seus resultados e tal esforço foi de extrema importância para a colaboração dos mesmos.

Vale destacar que os benefícios da ferramenta MSA só poderão ser enxergados a longo prazo e por conta disso, ainda existe uma grande resistência da alta gerência em empregar recursos como pessoas e materiais para sua viabilização do processo.

## REFERÊNCIAS

ANFAVEA. Análises de sistemas de medição – MSA, Manual de referência, 3ª. Ed. São Paulo: IQA, 2002. 225 p.

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. Fundamentos de metrologia científica e industrial. São Paulo: Editora Manole, 2010. Disponível em: Acesso em: 24 dezembro 2012.

MP DA FONSECA. Curso De Engenharia De Produção Da ..., 2008 - ip20017719.eng.ufjf.br.

LUIZ SILVA, WELBERT. Experiência na implantação da rotina de análise de sistemas de medição em uma indústria de autopeças. 2002. 22f. Artigo (2nd International Conference on Advanced Measurement Techniques and Sensory Systems for Automotive Applications) – Ancona, Itália. 2002.

WERKEMA, M. C. C. Avaliação de Sistemas de Medição. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006. 15 p.

IQA - INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. Análise dos sistemas de medição. São Paulo: 1997.

MONTGOMERY, C. D. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2004. 237p.

WERKEMA, MARIA CRISTINA CATARINO. Avaliação de Sistemas de Medição. 1ª. Ed. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006. 116p.

WERKEMA, M. C. C. Avaliação da Qualidade de Medidas. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 2000. p. 9-26.

KAPLAN, R.S.; NORTON, D.P. A estratégia em ação: balanced scorecard. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

MARIOTTI, H. As paixões do ego: complexidade, política e solidariedade. São Paulo: Palas Athena, 2000.

DEMING, W.E. Qualidade: a revolução da administração. Saraiva: Rio de Janeiro, 1990.

BOWER, K. M. Minitab Inc. Disponível em  
[http://www.minitab.com/uploadedFiles/Shared\\_Resources/Documents/Articles/analysis\\_of\\_variance.pdf](http://www.minitab.com/uploadedFiles/Shared_Resources/Documents/Articles/analysis_of_variance.pdf) Acesso em 11/11/2010.

HOGG, R.V., LEDOLTER, J. Applied Statistics for Engineers and Physical Scientists. Macmillan Publishing Company, NY. 1987.

[https://www.americanas.com.br/produto/8713394/micrometro-externo-digital-capacidade-0-25mm-resolucao-0-001mm-mitutoyo-mdc-lite-293-821?pfm\\_carac=micrometro&pfm\\_index=2&pfm\\_page=search&pfm\\_pos=grid&pfm\\_type=search\\_page%20](https://www.americanas.com.br/produto/8713394/micrometro-externo-digital-capacidade-0-25mm-resolucao-0-001mm-mitutoyo-mdc-lite-293-821?pfm_carac=micrometro&pfm_index=2&pfm_page=search&pfm_pos=grid&pfm_type=search_page%20).

<https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle>;

<https://www.bsigroup.com/pt-BR/ISO-TS-16949-Industria-Automotiva/>.

Manual IQA – Instituto de Qualidade Automotiva – 3ª Edição.

Curso MSA – Análise dos Sistemas de Medição (SOCIESC – Sociedade Educacional de Santa Catarina – ano 2010