

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**BRUNO HENRIQUE DE PAIVA MANCINI**

**VALIDAÇÃO DO SISTEMA DIMENSIONAL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO  
ESTUDO DE R&R (REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE), EM UMA  
EMPRESA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE.**

Botucatu-SP  
Dezembro – 2015

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

**BRUNO HENRIQUE DE PAIVA MANCINI**

**VALIDAÇÃO DO SISTEMA DIMENSIONAL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO  
ESTUDO DE R&R (REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE), EM UMA  
EMPRESA METALÚRGICA DE GRANDE PORTE.**

Orientador: Prof. Esp. André Delecrodi Neves

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
FATEC - Faculdade de Tecnologia de  
Botucatu, para obtenção do título de  
Tecnólogo no Curso Produção Industrial.

Botucatu-SP  
Dezembro – 2015

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, a minha esposa, meus familiares, meu orientador e a todos aqueles que me apoiaram durante a minha graduação.

## RESUMO

O controle dimensional é um fator diretamente ligado a qualidade do produto, pois a capacidade que um sistema de medição possui de obter e demonstrar as medições corretas bem como sua estabilidade garante a qualidade do produto, pois podem aprovar produtos ruins ou reprovar produtos bons. O estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R) é uma das ferramentas da Análise dos Sistemas de Medição (MSA), normalmente aplicada pela engenharia da qualidade, é uma ferramenta que permite avaliar se o SM (Sistema de Medição), quanto à capacidade de um operador possui de obter um mesmo resultado (Repetibilidade) e a capacidade de diferentes operadores obterem o mesmo resultado (Reprodutibilidade), verificando a capacidade de controle dimensional do sistema de medição utilizado. Também permite identificar qual o fator que torna o SM inadequado, indicando se o detrator do sistema está ligado aos instrumentos ou aos operadores (avaliadores), o que quando necessário permite direcionar de maneira efetiva as ações corretivas quando o SM esteja inadequado e assim possa ser melhorado. O estudo realizado neste trabalho tem o intuito de validar o sistema de medição de uma área de fabricação de peças metálicas aplicando o estudo de R&R (Repetibilidade& Reprodutibilidade). Mostrando a sistemática a ser adotada, assim como o método de análise para avaliar o sistema de medição e deste modo verificar se o sistema de medição aplicado à célula atende com eficiência a necessidade dos controles dimensionais exigidos nos produtos manufaturados.

**PALAVRA-CHAVE:** R&R, Qualidade, MSA.



## **ABSTRACT**

The dimensional control is a factor directly related to product quality as the ability of a measurement system has to obtain and demonstrate the correct measurements as well as its stability ensures product quality as they may approve bad products or disapprove good products. The Repeatability and Reproducibility (R&R) study is one of the tools of Measurement Systems Analysis (MSA), usually applied for the quality engineering, it is a tool to assess whether the SM (Measurement System), as the capacity of an operator has to get the same result (repeatability) and the capacity of different operators to obtain the same result (reproducibility), checking the dimensional control capability of the measuring system used. It also allows identify the factor that makes inadequate SM, indicating whether the detractor of the system is connected to instruments or operators (evaluators), which when needed allows you to direct effectively corrective actions when the SM is inappropriate and thus can be improved. This study is intended to validate the measurement system of a metallic parts manufacturing facility applying the study R & R (Repeatability & Reproducibility). Showing the systematic to be adopted, as well as the method of analysis to evaluate the measurement system and thus check if the measuring system applied to the cell efficiently meets the need for dimensional controls required in manufactured products.

**KEYWORD:** R&R, Quality, MSA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 01: Trena .....	23
Figura 02: Régua Graduada.....	23
Figura 03: Paquímetro Analógico.....	24
Figura 04: Paquímetro Digital .....	24
Figura 05: Micrometro Analógico.....	24
Figura 06: Micrometro Digital .....	25
Figura 07: Imicro Analógico .....	25
Figura 08: Imicro Digital.....	25
Figura 09: Transferidor de Grau .....	25
Figura 10: Transferidor de Grau.....	26
Figura 11: Goniômetro Analógico.....	26
Figura 12: Dispositivo Passa não passa para furos.....	27
Figura 13: Dispositivo Passa não passa para roscas internas e externas .....	27
Figura 14: Precisão X Acurácia.....	30
Figura 15: Representação do Calculo de R&R.....	31
Figura 16: Exemplo de medida linear.....	36
Figura 17: Exemplo de Medida de ângulo com goniômetro .....	36
Figura 18: Exemplo de Medida de aba com próximo de 90° .....	37
Figura 19: Exemplo de Medida de aba com quando valor deve ser obtido pelo vértice.....	37
Figura 20: Representação de quando o valor deve ser obtido pelo vértice .....	38
Figura 21: Tabela coleta de medições .....	42
Figura 22: Planilha de cálculo de R&R Produto medição linear.....	47
Figura 23: Planilha de cálculo de R&R Produto altura de aba.....	47
Figura 24: Planilha de cálculo de R&R Produto ângulo da aba .....	48
Figura 25: Planilha de cálculo de R&R Processo medição linear .....	49
Figura 26: Planilha de cálculo de R&R Processo altura da aba .....	49
Figura 27: Planilha de cálculo de R&R Processo ângulo da aba.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 01: Critérios de Aceitação .....	34
Tabela 02: Dimensão Pretendida de Medida Linear .....	40
Tabela 03: Dimensão Pretendida de Altura de Aba .....	40
Tabela 04: Dimensão Pretendida de Ângulo .....	41
Tabela 05: Perfil dos Operadores .....	41
Tabela 06: Valores coletados medição linear .....	43
Tabela 07: Valores coletados medição de altura de aba .....	44
Tabela 08: Valores coletados medição de ângulo .....	45
Tabela 09: Resultado dos cálculos para controle de produto .....	48
Tabela 10: Resultado dos cálculos para controle de processo .....	50

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

R&R- Repetibilidade e Reprodutibilidade

SM - Sistema de Medição ou Sistema Dimensional

MSA - Measurement Systems Analysis (Análise dos Sistemas de Medição)

CDP - Corpo de Prova

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

CEP - Controle Estatístico de Processo

IPEM - Instituto de Pesos e Medidas

VIM - Vocabulário Internacional de Metrologia

CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

ASQ - American Society for Quality

ANSI - American National Standards Institute

ISO - International Organization for Standardization

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

## LISTA DE SÍMBOLOS

mm- Milímetros

pol - Polegada

“ - Polegada

m - Metro

Kg – Quilograma

s – Segundo

A - Ampère

K - Kelvin

° - Ângulo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Objetivo .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Justificativa e relevância do texto .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Qualidade .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Metrologia e Sistema dimensionais .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1 Sistemas de Unidades .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1.1 Sistema Imperial.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.2 Sistema métrico.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.3 Sistema Internacional de Unidades.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Medição .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.3 Elementos de Medição.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Erros de medição .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.5 Tolerância dimensional .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 MSA - Análise dos Sistemas de Medição .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 R&amp;R - Repetibilidade e Reprodutibilidade.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1 Relevâncias para o estudo de R&amp;R.....</b>	<b>32</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2 Método .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Estudo de Caso.....</b>	<b>39</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUÇÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O controle dimensional é um dos fatores de maior importância para as indústrias por interferir diretamente na qualidade dos produtos, porém devido às variáveis envolvidas ao se realizar a medição de um produto, podem ocorrer diversas falhas acarretando não conformidades em produtos ou desvios nos processos de manufatura.

Esse controle está diretamente ligado ao tipo de produto, bem como aos requisitos dos clientes e projeto do produto. Como exemplo, podemos utilizar o controle dimensional na construção de uma casa onde a tolerância pode variar de milímetros a centímetros, já no caso de uma peça usinada onde o projeto exija grande precisão, podemos ter a tolerância ou variação dimensional estipuladas em milésimos. Devido aos produtos fabricados nesta empresa e na área produtiva avaliada exigirem um nível de controle dimensional aplicado aos produtos onde a variação está em sua maioria estipulada em décimos de milímetros nos produtos, se torna uma característica a ser verificada.

Conforme o conceito de Crosby (1986) “Qualidade é a conformidade do produto às suas especificações”, deste modo se pode considerar que um produto onde seu dimensional está de acordo com o especificado em seu projeto ou com as especificações do cliente, está conforme, e possui controle dimensional assim pode ser considerado um produto de qualidade. Já um produto fora do dimensionamento é considerado como uma não conformidade.

Esses desvios podem afetar diretamente o produto ou em alguns casos podem afetar os produtos que o utilize como componente.

A necessidade de se verificar se o sistema dimensional atende ou não os produtos fabricados na área de manufatura não parte só do princípio de verificar se uma peça está

conforme ou não a sua especificação como também visa garantir que as medições durante o processo de fabricação estejam corretas, mais buscando também garantir que o processo de fabricação seja controlado.

### **1.1 Objetivo**

A presente pesquisa teve como objetivo o entendimento do conceito do estudo de Reprodutibilidade e Repetibilidade, através da realização de pesquisa acadêmica e da aplicação em campo desta ferramenta, buscando compreender as características e necessidades para a aplicação do estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade pela área da qualidade em uma área produtiva fabricante de peças metálicas.

A razão para a realização do presente estudo é a utilização da ferramenta de Repetibilidade e Reprodutibilidade pela área da qualidade aplicada à área produtiva.

Buscando a validação do sistema dimensional, em referencia aos produtos e os processos da área produtiva, já que devido à eliminação de um turno, todos os operadores estão realocados no mesmo turno, o que gerou a primeira necessidade de avaliação do SM.

O estudo realizado também tem o intuito de verificar se as não conformidades ocorridas na área produtiva estão relacionadas a um sistema dimensional inadequado. E como a ferramenta permite identificar onde esta a origem da deficiência no SM, este apóia elaboração de um plano de ação visando à adequação do sistema de medição, já que permite que as ações de melhoria ou correção sejam direcionadas com maior assertividade.

Também devido à implantação do sistema de manufatura enxuta na empresa, verificou-se que esta ferramenta, serviria como um meio de avaliação e monitoramento do sistema de medição da área produtiva.

### **1.2 Justificativa e relevância do texto**

A importância deste estudo se dá pela utilização da filosofia de manufatura enxuta onde surge a necessidade de administrar os requisitos de controle dimensional, pois essa característica pode afetar diretamente a qualidade do processo realizado na área produtiva, como também no produto final.

O projeto é justificado por permitir à avaliação do SM de forma preventiva através do monitoramento do processo produtivo e de seus produtos, já que assim é possível avaliar o sistema de medição tanto como, controle de produto e ou controle do processo, permitindo assim que um monitoramento das características do SM.



Conforme observado por Deming, apenas 4% dos erros são devidos às falhas “locais” dos operadores os restos dos erros se localizam nos sistemas de produção, incluindo-se o estado dos materiais, a manutenção das máquinas, a operação das ferramentas e as condições ambientais.

Também se justifica pelo controle necessário dos requisitos dimensionais aplicado aos produtos fabricados na empresa estarem diretamente relacionados à qualidade, já que interferem diretamente nas montagens nas quais são utilizados, bem como afetam a segurança e confiabilidade do produto final.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Qualidade**

Atualmente o termo qualidade é amplamente utilizado por grande parte das organizações em seus produtos ou serviços. Para compreender o porquê dessa ampla utilização temos que entender que o termo qualidade não possui uma definição correta e precisa a definição do é qualidade depende essencialmente de quem a avalia, já para Reeves e Bednar (1994), não existe uma definição global e diferentes definições de qualidade surgem em diferentes circunstâncias, tornando-o um fenômeno complexo

A ASQ (American Society for Quality) define qualidade como: “Um termo subjetivo, para o qual cada pessoa, ou setor, possui sua própria definição. Em sua utilização técnica, a qualidade pode ter dois significados:

As características de um produto ou serviço, que dão sustentação, à sua habilidade em satisfazer requisitos especificados e ou as necessidades implícitas;

Um produto ou serviço livre de deficiências.”

Tecnicamente também há algumas outras definições para o conceito de qualidade, como “A totalidade dos requisitos e características de um produto ou serviço que estabelecem a sua capacidade de satisfazer determinadas necessidades”. (American National Standards Institute - ANSI, 1978).

“Totalidade de características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades implícitas e explícitas”. (NBR-ISO, 9000:2000)

Normalmente o conceito de qualidade está associado a uma ou mais características as quais indicam superioridade ou excelência do produto ou serviço em relação aos demais concorrentes.

De acordo com Garvin (1992) há oito principais características associadas à percepção do termo qualidade que são:

- **Desempenho:** trata das características básicas de um produto ou serviço. Nesta dimensão está a capacidade do produto de ser eficaz e eficiente, ou seja, efetivo.
- **Características:** é a especificação do produto ou serviço conforme definido por quem o fornece. Existem também as características secundárias, que suplementam o funcionamento do produto e, embora não sejam sempre descritas, têm o poder de alterar a percepção do cliente com relação ao produto ou serviço.
- **Confiabilidade:** reflete a probabilidade de mau funcionamento do produto, como tempo de falha, possibilidade de defeitos, etc. Assim podemos considerar que quanto maior for o índice de confiabilidade de um produto ou serviço, menor será a possibilidade de frustrar a expectativa do cliente.
- **Conformidade:** reflete o grau em que um projeto e as características de um produto ou serviço estão de acordo com padrões pré-estabelecidos, com sua especificação. Existem duas abordagens distintas de conformidade:
  - A primeira iguala conformidade ao cumprimento de especificações (está mais relacionada com o pensamento norte-americano);
  - A segunda iguala conformidade com o grau de variabilidade (está mais relacionada com os fabricantes Japoneses e com o trabalho de Genichi Taguchi).
- **Durabilidade:** expressa a vida útil de um produto. Pode ser definido como o tempo pelo qual um produto mantém suas características e perfeito funcionamento, em condições normais de uso.
- **Atendimento:** tem grande poder de afetar a percepção do cliente em relação à organização. Rapidez no atendimento, facilidade na resolução de problemas, pois não há somente a preocupação com a possibilidade de haver problemas com um produto ou serviço, mas também com a eficiência do fornecedor em sanar esses possíveis problemas quando ocorreram.
- **Estética:** outra dimensão empírica está diretamente relacionada ao ponto de vista do cliente ou do público alvo do produto. Pode ser considerada como o quanto a aparência de um produto, o sentimento desejo na aquisição.

- **Qualidade percebida:** Está diretamente relacionada com a confiabilidade em relação à marca da empresa. Pois acreditamos que quem produz algo de qualidade reconhecida, seja capaz de manter esse nível em seus outros produtos ou serviços.

O conceito de qualidade para uma empresa em relação aos seus produtos ou serviços deve ser claro e objetivo, não podendo haver a possibilidade para duplas interpretações.

Neste caso a busca pela qualidade deve estar presente desde o início na concepção do produto, considerando materiais e máquinas a serem utilizados na fabricação ou serviço, até sua finalização. Podendo ser representado pelo conceito de Ishikawa, (1993) “Qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto que é mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor”. Também deve ser considerada a capacidade que o processo possui de garantir que as características dimensionais e funcionais especificadas no projeto sejam atendidas.

A utilização pelo cliente do produto ou serviço conforme sua especificação também deve ser considerada como um fator de qualidade, conforme também observado no conceito de Falconi (1992) “Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”.

Mesmo que não haja uma definição exata do que é qualidade, há grande importância no seu entendimento por todos os profissionais dentro do processo da empresa, independente do ramo em que esta organização atue (NADLER; TUSHMAN, 1994)

Uma das formas de mostrar a dificuldade do entendimento para o termo qualidade abaixo segue a definição da versão online do dicionário Michaelis para o termo qualidade.

qua.li.da.de

**sf (lat qualitate)** 1 Atributo, condição natural, propriedade pela qual algo ou alguém se individualiza, distinguindo-se dos demais; maneira de ser, essência, natureza. 2 Excelência, virtude, talento. 3 Caráter, índole, temperamento. 4 Grau de perfeição, de precisão, de conformidade a um certo padrão: **Artigo de primeira qualidade. Trabalho de qualidade inferior.** 5 Categoria, espécie, tipo: **A fábrica produz apenas uma qualidade deste artigo.** 6 Cargo ou função de que resultam direitos e obrigações. 7 Título de habilitação profissional. 8 Posição, papel: **Ele não falou na qualidade de ministro, mas na de cidadão comum.** 9 Gram Valor das vogais quanto ao timbre. 10 Mús Atributos do som, altura, intensidade, timbre e duração. 11 Filos Acidentem que modifica a substância, sem lhe alterar a essência. 12 Filos Conjunto de aspectos sensíveis da percepção resultantes de uma síntese efetuada pelo espírito. 13 Filos Propriedade do juízo que percebe a conveniência ou desconveniência entre sujeito e predicado. **sf pl** Atributos que convêm ou se adaptam a um ente. Quando estas qualidades procedem de sua essência, chamam-se **propriedades** ou **qualidades essenciais** ou **diferenças específicas**; quando não procedem de sua essência e sem elas pode o ente subsistir, chamam-se **acidentes** ou **qualidades acidentais**. Ser racional é uma **propriedade** ou **qualidade essencial** do homem; ser alto ou baixo, branco ou preto, sábio ou ignorante, são **acidentes** ou **qualidades acidentais** da espécie humana. **Q. de impressão, Inform:** a qualidade do texto ou gráficos impressos,

normalmente medida em pontos por polegada. **Q. ocultas, Filos:** propriedades não verificáveis, supostas na natureza para explicar os fenômenos. **Q. primárias, Filos:** aquelas sem as quais os corpos não podem ser concebidos (extensão e impenetrabilidade). **Q. primeiras:** a impenetrabilidade, a extensão, a figura, o movimento ou o repouso, as quais se encontram por toda parte e, sempre, na matéria. **Q. secundários, Filos:** as que podem ser eliminadas por abstração sem suprimir a idéia de corpo (cor, sabor, cheiro etc.). **Q. segundas:** a cor, o calor, o cheiro, o sabor, o som etc., que não são inseparáveis da idéia do corpo. **Na qualidade de:** a título de, desempenhando as funções ou o cargo de. **Pessoa de qualidade:** pessoa de nascimento ilustre, distinta, nobre, qualificada.

O termo qualidade se torna mais abrangente podendo ser até mais confuso quando visto na visão dos clientes já que normalmente o termo qualidade é associado por mais de uma característica, sendo avaliadas ao mesmo tempo.(ASQ - American Society for Quality). Como exemplo, podemos ter o valor do produto em relação à sua durabilidade, a forma de utilização do produto. Também podendo apresentar o mesmo significado que o termo qualidade tem para a empresa ou fornecedor e cliente.

Conforme Shiba, Graham e Walden (1997) identificaram que cada período da história, a qualidade teve um enfoque diferente podendo ser identificado a seguir:

- **Década de 50:** adequação ao padrão: qualidade era sinônimo da garantia que o produto executasse as funções previstas em projeto;
- **Década de 60:** adequação ao uso: produtos capazes de suportar as mais variadas formas de uso;
- **Década de 70:** adequação ao custo: foco na redução de custos, com controle sobre a variabilidade dos processos de fabricação e redução de desperdícios;
- **Década de 80:** adequação às necessidades dos clientes: para se manter no mercado, as organizações passaram a anteciparem-se às necessidades dos clientes, satisfazendo-as.

## 2.2 Metrologia e Sistema dimensionais

Conforme a definição do INMETRO (2014), Metrologia é a ciência que estuda as medições, é uma ciência abrangente, pois possui diversas áreas de aplicações podendo ser considerada uma ciência multidisciplinar, pois é utilizada em todas as medições independente da grandeza a ser verificada ou o ramo em que está inserida, por esse motivo há a necessidade de seu entendimento, pois sua utilização não se aplica somente as indústrias mais em muitas outras atividades, essa necessidade foi expressa por Kelvin (1883) “o conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou um fenômeno somente existirá quando for possível medi-lo e expressá-lo por meio de números”.

Para o INMETRO e o IPEM-SP, a metrologia tecnicamente pode ser dividida em três grupos principais, sendo:

Metrologia Legal, Metrologia Científica e Metrologia Industrial, neste trabalho se aplica com maior utilidade ao contexto as metrologias Industrial e Científica que são as mais utilizadas nos processos e produtos industriais.

- **Metrologia Legal:** “é parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos e métodos de medição, que são desenvolvidas por organismos competentes com intuito da defesa do consumidor” (INMETRO, 2014)
- **Metrologia Industrial:** cujos sistemas de medição controlam processos produtivos industriais e são responsáveis pela garantia da qualidade dos produtos acabados. (INMETRO, 2014)
- **Metrologia Científica:** utiliza-se de instrumentos laboratoriais, pesquisas e metodologias científicas tendo como base padrões de medição nacionais e internacionais visando altos níveis de qualidade metrológica. (INMETRO-RS)

Pode se considerar que os ramos da Metrologia Científica e da Metrologia Industrial estão muito próximos, podendo até mesmo possuir uma mesma definição mesmo que abrangente como “uma ferramenta fundamental no crescimento e inovação tecnológica, promovendo a competitividade e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento científico e industrial em todo e qualquer país. (INMETRO, 2014)

O papel da metrologia na indústria vai desde garantir a calibração dos instrumentos dimensionais e equipamentos que também possuam funções dimensionais.

Segundo Pereira (2006), “a metrologia visa garantir a qualidade do produto final, sendo também um diferenciador tecnológico e comercial entre as empresas. Também contribuindo para redução do consumo e do desperdício de materiais pela calibração de componentes e equipamentos, aumentando a produtividade. E, finalmente, a metrologia ainda colabora para diminuir a possibilidade de rejeição do produto” este conceito pode ser apoiado por Kelvin “Se você não pode medir algo, não pode melhorá-lo”.

Conforme definição dada pelo INMETRO-RS à metrologia pode ter entre seus principais objetivos:

- Garantir a confiabilidade nos sistemas de medição.
- Cumprimento das especificações técnicas, regulamentos e normas existentes,

- Proporcionar as mesmas condições de perfeita aceitabilidade na montagem de partes e de produtos finais, independente de onde sejam produzidas.
- Melhoria do nível de vida das populações:
- Consumo de produtos com qualidade;
- Preservação da segurança, saúde e do meio ambiente.

Conforme os objetivos da metrologia, visto acima é possível entender que estes visam garantir a qualidade dos produtos e processos evitando que as não conformidades possam ser geradas através da falha de instrumentos de medição e dos equipamentos que possuam funções de controle dimensional.

Assim garantindo confiabilidade às informações geradas por estes equipamentos. Também busca evitar que ocorram falhas durante a medição de produtos, que poderiam permitir a aprovação de produtos falhos e ou reprovação de produtos que estejam conforme a especificação.

Ainda conforme o INMETRO-RS (2012) alguns dos benefícios proporcionados pela metrologia são o de garantir à qualidade devido ao atendimento as especificações, assim gerando aumento da produtividade através da:

- Calibração de componentes e equipamentos.
- Garantia a qualidade do produto final.
- Reduz o consumo e o desperdício de materiais.
- Aumento da produtividade.
- Reduzindo a possibilidade de rejeição do produto.
- Resguardando os princípios éticos e morais da empresa em relação à sociedade em que está inserida.

Todos esses benefícios visam favorecer as negociações com o cliente neste caso podemos citar empresas que trabalham com a modalidade de qualidade assegurada junto aos seus fornecedores ou clientes, também podendo ser considerados como um diferenciador tecnológico perante concorrentes e evitando desgastes relacionados à imagem da empresa ou organização junto ao mercado devido a falhas na qualidade.

### **2.2.1 Sistemas de Unidades**

Uma unidade de medição é a um padrão adotado ou definido para representar uma determinada grandeza física. (IPEM-SP)

Já um sistema de unidades pode ser definido como um conjunto de unidades e grandezas, e as regras as quais devem definir sua utilização. (IPEM-SP)

Grandeza pode ser definida como tudo aquilo que pode ser identificado e medido, como por exemplo, velocidade, tempo, massa e força. (IPEM-SP).

A necessidade de realizar e obter medidas são uma necessidade muito antiga. Sendo que por muito tempo, cada povo teve o seu próprio sistema de medidas o que nem sempre era precisas normalmente sendo baseadas no corpo humano como exemplo o cúbito no Egito antigo por volta de 200 A.C e posteriormente, palmo, pé, polegada, braça, côvado. (INMETRO, 2014)

Essas diferenças dificultavam e geravam diversos problemas principalmente referentes ao comércio, devido aos diferentes sistemas de medidas utilizados por cada região. (INMETRO, 2014)

Com a evolução e as transformações políticas e econômicas, surgiu a necessidade de se ter alguma padronização, inicialmente foram criados alguns dos padrões que seriam os mais importantes sendo estes os, monetários, de idiomas por região e o de pesos e medidas. (INMETRO, 2014)

A partir de 1790, no período da Revolução Francesa, houve uma nova proposta de para uma legislação metrológica, que foi aprovada no ano seguinte, este novo sistema teria por base de comprimento a décima - milionésima parte do quadrante de meridiano terrestre, baseado nas medições do arco de meridiano compreendido entre Dunquerque e Barcelona. A Academia de Ciências da França conduziu o projeto, apresentando, em 1799, o Sistema Métrico Decimal. (INMETRO, 2014)

Posteriormente, muitos outros países adotaram o sistema, inclusive o Brasil, aderindo à Convenção do Metro, de 20 de maio de 1875. (INMETRO, 2014)

O Sistema Métrico Decimal inicialmente possuía três unidades básicas de medida: o metro, o quilograma e o segundo. Devido ao desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições de maior precisão e de novas grandezas diversas modificações ocorreram até que, em 1960, o Sistema Internacional de Unidades (SI), foi consolidado pela 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas. (INMETRO, 2014)

O SI foi adotado pelo Brasil em 1962, e ratificado pela Resolução nº 12 (de 1988) do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Conmetro, tornando-se de uso obrigatório em todo o Território Nacional. (INMETRO, 2014)

Uma questão muito importante quanto à utilização de um sistema de unidades é que este está diretamente ligado à aceitação do sistema pelos seus usuários, como exemplo que



pode ser citado é o sistema internacional, que foi definido como o padrão oficial pela Inglaterra porém devido a uma não aceitação total pela população o país ainda utiliza amplamente o sistema imperial. (INMETRO, 2014)

#### **2.2.1.1 Sistema Imperial**

Sistema criado e amplamente utilizado nos países anglo-saxões utiliza um sistema de medidas baseado na jarda imperial (yard) e seus derivados não decimais, em particular a polegada inglesa (inch), equivalente a 25,399 956 mm à temperatura de 0°C. Já nos Estados Unidos é adotada a polegada milesimal, cujo valor foi fixado em 25,400 050 8 mm à temperatura de 16 2/3°C. (APOSTILA DE METROLOGIA SENAI-PE, 1999)

Este sistema ainda é amplamente utilizado na indústria mecânica devido à forte influência e ligação com a indústria da Inglaterra e dos Estados Unidos da América.

#### **2.2.1.2 Sistema métrico**

É um sistema decimal baseado nas unidades metro e grama, este sistema foi apresentado por Talleyrand, na França, num projeto que se transformou em lei naquele país, sendo aprovada em 8 de maio de 1790. Sua vantagem sobre o sistema imperial é a de possuir uma unidade de base única para cada quantidade física. Todas as outras unidades são potências de dez ou múltiplos de dez da unidade base (TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE: METROLOGIA, 1997; INMETRO, 2014).

Conforme Dias (1988), a sua simplicidade e padronização permitiram à noção de inter-relacionamento entre unidades, e o desenvolvimento tecnológico, ao mesmo tempo em que oferecia novas técnicas de medição, exigia níveis de exatidão cada vez maiores nos laboratórios e no processo produtivo.

#### **2.2.1.3 Sistema Internacional de Unidades**

O sistema (SI) criado pela Conferencia Geral de Pesos e Medidas (CGPM) surgiu da intenção de que cada grandeza deveria possuir somente uma unidade. Esse acordo quanto à utilização de apenas uma unidade foi realizado em 1971, na 14a CGPM. Onde foram definidos quais seriam as unidades básicas do SI sua simbologia e unidades derivadas, ficando definido do modo a seguir: metro (m) para comprimento, quilograma (Kg) para massa, segundo (s) para tempo, ampère (A) para corrente elétrica, kelvin (K) para temperatura além de outros. (TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE: Metrologia, 1997).

O Sistema Internacional de Unidades pode ser considerado como a evolução do sistema métrico. Tornou-se o sistema mais utilizado no mundo atualmente.

### 2.2.2 Medição

Conforme definição do Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM 2008) versão em português publicada pelo INMETRO, o termo medição é definido como “o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza”.

O dicionário Michaelis define o significado de medição como:

me.di.ção

**sf (medir+ção) 1** Ato ou efeito de medir; medida. **2** Conjunto das medidas para o levantamento de uma planta. **M. direta, Mat:** a que consiste na aplicação sucessiva da unidade sobre a grandeza. **M. indireta, Mat:** a que consiste em calcular o valor de uma grandeza mediante relações que a ligam a outras conhecidas, suscetíveis de avaliação direta.

Para Eisenhart (1962) medição é “a atribuição de números para coisas materiais, para representar as relações entre elas no que se refere a propriedades particulares” assim basicamente é o ato de mensurar uma característica ou dado em relação a sua grandeza podendo essa ser física química entre outras, para isso é necessário saber qual a grandeza a ser aplicada ao que vai ser medido. Por isso se estivermos medindo uma grandeza devemos utilizar somente suas derivadas

A medição é amplamente empregada nos processos industriais como meio de controle das medidas durante os processos de fabricação visando garantir que o produto seja fabricado conforme suas especificações e também na conferência de medidas do produto real em relação à sua especificação do produto e assim verificar se o produto está ou não em conformidade com o especificado.

### 2.2.3 Elementos de Medição

Conforme o Apostila de Metrologia do SENAI-PE (1999) há três elementos fundamentais que influenciam diretamente o resultado de uma medição, sendo estes métodos de medição, Instrumento de medição e Operador, por assim dizer podemos considerar estes elementos como a base para que seja realizado o processo medição

- **Método:** método de medição é basicamente o modo como a medição será realizada sendo comumente aceito que há dois métodos sendo estes o método direto e o método indireto.

O que define um método é o meio como a informação será referente à medição será obtida. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)

- **Medição Direta:** método direto é aquele em que o instrumento de medição é utilizado diretamente no objeto e através dessa medição se obtêm um valor definido sobre o sobre a grandeza medida. Simplificando a medição direta gera um resultado definido e específico. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)
- **Medição indireta:** é a medição através de comparação podendo ser essa comparação através de uma peça modelo, dispositivos de projeção ou através dispositivos passa ou não passa, basicamente através desse método não se obtêm um resultado definido, porém o que se verifica é se o objeto se encontra dentro de valores estabelecidos como Maximo e mínimo para a aceitação ou reprova. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)
- **Instrumentos dimensionais:** são ferramentas que tem como objetivo gerar o valor encontrado durante a medição, conforme a grandeza a ser obtida em um objeto ou algo. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)

Na indústria os instrumentos são considerados como ferramentas de controle e verificação, havendo diversos tipos de instrumentos para as mais diversas aplicações, são um dos elementos essenciais para a realização da medição. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)

Há alguns cuidados na utilização de um instrumento de medição para que a medição não apresente erros, esses cuidados vão desde a escolha do instrumento adequado em função da medição e objeto a serem verificados, com a exatidão adequada à medida a ser verificada é importante, pois se um instrumento possui precisão de 0,5mm não pode ser utilizado para medir um produto cuja exatidão tenha que ser medida em 0,02mm.

Um dos fatores mais importantes na escolha de um instrumento de medição é o que este deve estar calibrado para evitar erros.

Neste tópico serão exemplificados alguns dos instrumentos de medição, os quais são mais comumente encontrados e utilizados nos processos produtivos das indústrias metalúrgicas.

- **Trena:** é uma fita métrica retrátil usada para medir grandes distâncias.

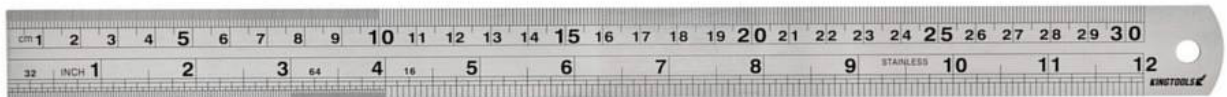
Figura 01: Trena



Fonte: <http://www.somarcas.com.br/>

- **Régua Graduada (Escala):** a régua graduada (escala). É usada para medidas lineares, quando não há exigência de grande precisão. Para que seja completa e tenha caráter universal, deverá ter graduações do sistema métrico e do sistema inglês.

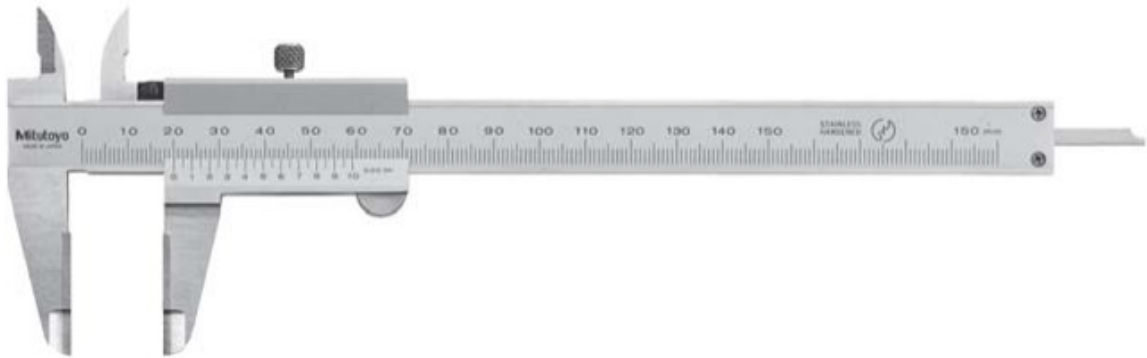
Figura 02: Régua Graduada



Fonte: <http://www.atacadaodasferramentas.com.br/>

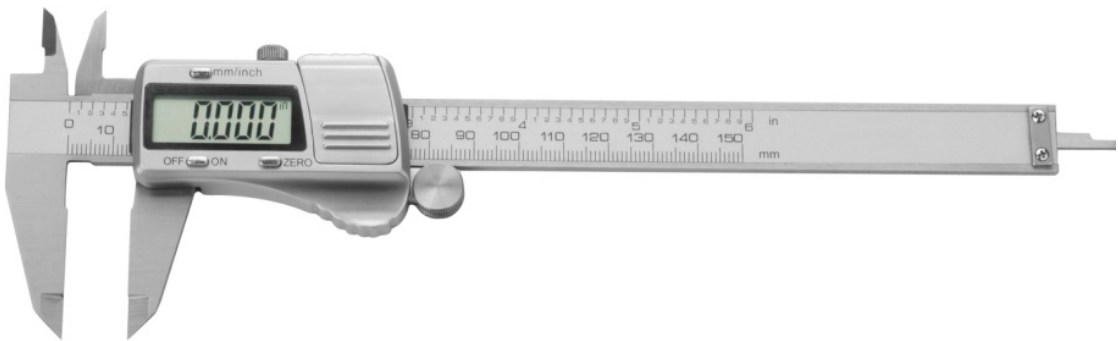
- **Paquímetro:** Utilizado para a medição de peças, quando a quantidade de peças não justificar um instrumento específico e a precisão requerida no produto não for menor que 0,02mm, 1" /128 nos casos dos paquímetros analógicos, nos paquímetros digitais possuem mostradores que podem ter indicação milesimal.

Figura 03: Paquímetro Analógico



Fonte: <http://catalogo.tecnoferramentas.com.br/>

Figura 04: Paquímetro Digital



Fonte: <http://www.ingcotools.com.br/>

- **Micrometro:** instrumento metrológico utilizado na obtenção de medidas que exijam maior precisão, possui diversos modelos cada voltado à obtenção de um tipo de medida tais como espessura, altura, largura, profundidade, diâmetro etc.

Figura 05: Micrometro Analógico



Fonte: <http://www.fg.com.br/>

Figura 06: Micrometro Digital



Fonte: <http://www.inovacaotem.com.br/>

- **Imicro:** é uma variação do micrometro que é destinada a medição de furos, onde normalmente estes exigem um maior grau de precisão.

Figura 07: Imicro Analógico



Fonte: <http://www.mercantilpaulista.com.br/>

Figura 08: Imicro Digital



Fonte: <http://www.multtecnica.com.br/>

- **Transferidor de grau e Goniômetro:** instrumentos utilizados para verificar o grau em uma conformação de uma chapa.

Figura 09: Transferidor de Grau



Fonte: <http://www.romaparafusos.com.br/>

Figura 10: Transferidor de Grau



Fonte: <https://www.worldtools.com.br/>

Figura 11: Goniômetro Analógico



Fonte: <http://www.transcat.com/>

- **Dispositivo Passa não Passa:** Esta ferramenta de medição não nos dá um valor - no sentido convencional do termo - mas sim um estado. O estado pode ser o de aceitável (a peça está dentro da tolerância e pode ser utilizada) ou de não aceitável (a peça está fora da tolerância e deve ser recusada).

Figura 12: Dispositivo Passa não passa para furos



Fonte: <http://images.quebarato.com.br/>

Figura 13: Dispositivo Passa não passa para roscas internas e externas



Fonte: <http://topdrill.com.br/>

- **Operador:** dentre os três elementos de medição é o mais impactante, pois a medição realizada depende diretamente da habilidade e do conhecimento que o operador possui sobre instrumento, deste modo um operador mais experiente e ou mais habilidoso tende a reduzir os fatores de erro de medição como, erro de paralaxe e pressão aplicada ao instrumento durante o a medição. (APOSTILA DE METROLOGIA - SENAI-PE, 1999)

#### 2.2.4 Erros de medição

Estão classificados em erros de influências objetivas e de influências subjetivas. (APOSTILA DE METROLOGIA TELECURSO 2000)

**Erros de influências objetivas:** São aqueles motivados pelo instrumento

- Erro de planicidade;
- Erro de paralelismo;
- Erros da divisão da régua;
- Erros da divisão do nônio;
- Erros da colocação em zero.



**Erros de influências subjetivas:** São aqueles que têm origem pela ação do operador.

Os erros que podem afetar a leitura de um instrumento de medição normalmente são dois o erro por paralaxe e o erro devido à pressão exercida sobre o instrumento de medição.

**Erro de Paralaxe:** Este erro origina-se na leitura do instrumento de medição quando o operador está realizando a leitura perpendicularmente recomenda-se posicionar-se de frente para o instrumento.

**Pressão Aplicada ao instrumento:** Este erro acontece quando a pressão exercida ao instrumento é pouca gerando uma medida maior ou quando muita força é aplicada ao instrumento o que pode levar a uma medida menor além de danificar o instrumento de medição.

### **2.2.5 Tolerância dimensional**

Tolerância dimensional pode ser definida como: o desvio máximo para mais ou para menos em um produto sem que a funcionalidade ou a qualidade deste seja afetada, ou no caso de uma peça que será montada em outro conjunto que não afete essa montagem. (TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE: Tolerância Dimensional, 1999)

A amplitude da tolerância pode ser medida através da diferença entre a dimensão máxima e mínima de uma peça.

### **2.3 MSA - Análise dos Sistemas de Medição**

De acordo com IQA (2004), o MSA - Análise do sistema de medição (Measurement Systems Analysis) é um método estatístico, que tem como função verificar a adequação do sistema de medição ou não no intuito de avaliar ou controlar um processo ou produto, e, buscando a identificação das causas da não adequação do sistema.

Silva (2002 citado por Fonseca, 2008 p.2) constatou que, apesar das possíveis diferenças, todos os sistemas dimensionais apresentam algumas propriedades estatísticas:

- 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.

Conforme observado por Deming, apenas 4% dos erros de medição são devidos às falhas “locais” dos operadores, o resto dos erros localizam-se nos sistemas de produção, incluindo-se o estado dos materiais, a manutenção das máquinas, a operação das ferramentas e as condições ambientais.

Para avaliação e análise de um sistema de medição, esta deve ser realizada com a utilização de ferramentas estatísticas que permitam que seja avaliada a confiabilidade dos dados gerados nos sistemas de medição.

Portanto, a avaliação estatística da qualidade das medidas, é um importante estudo que deve ser parte integrante do gerenciamento de processos, pois permite que decisões sejam baseadas em dados.

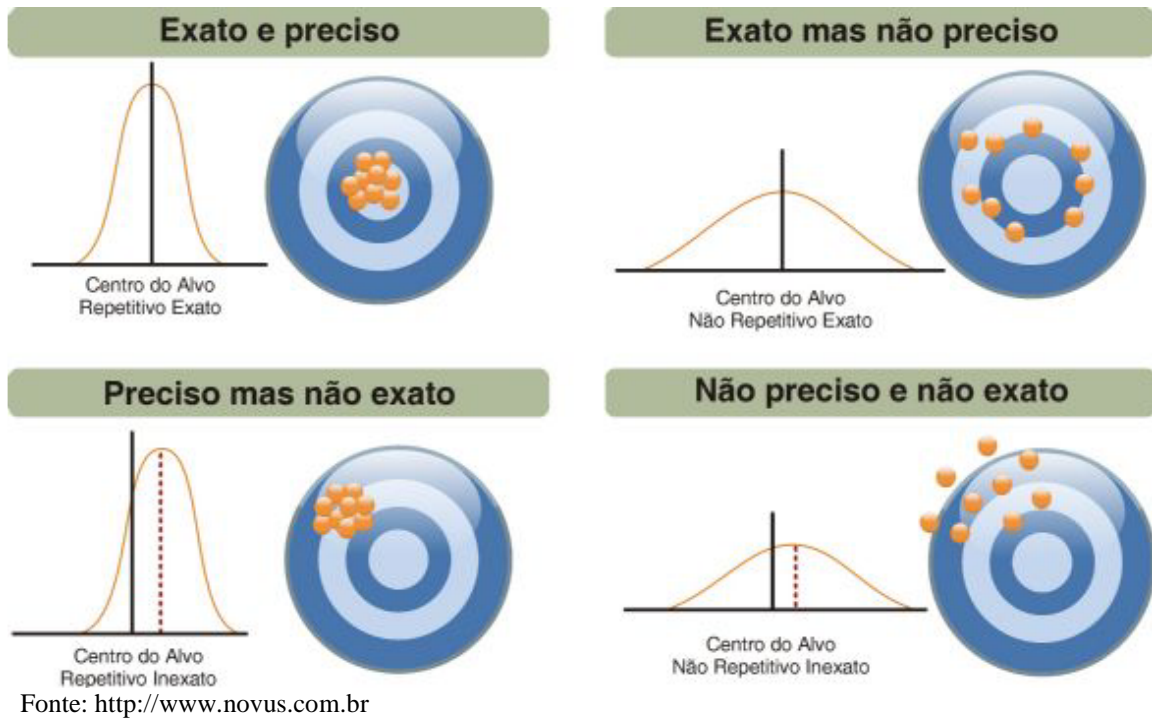
Para Menezes (2013), a análise de um sistema de medição pode ser realizada para avaliar se alguns dos fatores abaixo impactam o sistema de medição avaliado:

- Avaliar dispositivos suspeitos de serem deficientes;
- Necessário para o cálculo da variação do processo;
- Comparação entre dispositivos de medição;
- Critérios para aceitar novos equipamentos;
- Comparação do equipamento antes e depois do reparo;
- Estabelecer a Curva de Desempenho do Dispositivo.

De acordo com Menezes (2013) dentro de um sistema de medição a precisão é relacionada à variabilidade do sistema, ou seja, quanto maior for a variabilidade, menor será a precisão. Já a acurácia está relacionada com a média da distribuição das medidas: quanto mais perto do valor real, maior a acurácia.

Esse conceito pode ser representado conforme a figura 14, apresentada a seguir:

Figura 14: Precisão X Acurácia



O MSA trabalha com as seguintes ferramentas, Tendência, Repetibilidade, Reprodutibilidade, Estabilidade, Linearidade. Sendo o foco do estudo realizado a Repetibilidade e Reprodutibilidade.

#### 2.4 R&R - Repetibilidade e Reprodutibilidade

A definição a ser dada para Sistema de Medição é a do conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição e outros equipamentos, software e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida. (MANUAL DE MSA QS-9000, 1997)

Conforme, Burdick; Borror; Montgomery (2003) o estudo de R&R tem como objetivo determinar se a variabilidade do SM é relativamente menor que a variabilidade do processo avaliado.

A aplicação é realizada pela área que deseja avaliar o sistema de medição, onde é definido um aplicador o qual deve verificar e garantir que os cuidados para realização do estudo, também é o responsável por acompanhar as medições e anotar os valores obtidos e realizar o cálculo. A realização e consiste na escolha aleatória dos operadores, escolha de peças ou CDP's na área produtiva e SM a ser avaliado, e a execução de medições em peças ou CDP's (quando forem utilizados os CDP's estes devem reproduzir a realidade das peças

fabricadas na área de produção) ou deve-se selecionar peças que abranjam a maior faixa de tolerância possível condizente aos produtos fabricados na área.

Após essa seleção durante a realização do estudo em si cada operador deve repetir no mínimo três medições em cada peça, esses valores são registrados para serem utilizados na análise do estudo de R&R

É aconselhado a buscar um número de peças X número de operadores maior que 15 (variável g nos cálculos de variância) caso não seja possível devesse aumentar a quantidade de medições por peças. (PORTAL ACTION, 2015)

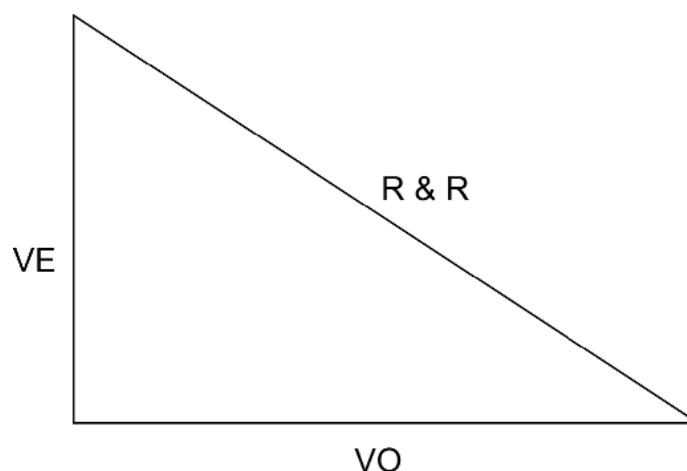
Abaixo temos as definições e especificações do estudo.

- **Repetibilidade (VE):** é a capacidade do instrumento de medição reproduzir uma mesma medição em uma peça ou corpo de prova quando utilizado pelo mesmo operador, essas medições devem ser realizadas preferencialmente no mesmo ambiente.
- **Reprodutibilidade (VO):** avalia a capacidade de um instrumento de medição reproduzir as medições quando o fator operador é alterado e se essa alteração pode causar variações que possam afetar diretamente os resultados obtidos das medições.

O estudo de R&R representa a soma das variações de repetibilidade e reprodutibilidade, sua representação pode ser feita pela seguinte equação:

$$RR = \sqrt{(VE)^2 + (VO)^2}$$

Figura 15: Representação do Calculo de R&R



Fonte: <http://www.portaction.com.br>

A aplicação do estudo de R&R tem como premissa o objetivo de avaliar o sistema de medição como Controle de Produto ou Controle de Processo.

- **Controle de Produto:** deve ser utilizado onde o sistema de medição avalia a peça em sua totalidade em relação à especificação neste caso o estudo avalia somente as medidas contidas nas peças, não sendo necessária a verificação de nenhuma outra característica que não esteja aplicada a peça.
- **Controle de processo:** se aplica a sistemas de medição específicos de um processo sendo que deste modo as peças avaliadas devem cobrir toda variação do processo. Como é voltado ao controle de um processo normalmente é associado a outras ferramentas do MSA.

#### 2.4.1 Relevâncias para o estudo de R&R

Abaixo segue algumas considerações indicados no Manual do MSA para a realização do estudo de R&R. (MANUAL DO MSA 4ª Ed, 2006)

- Se o sistema de medição for utilizado para processos com campos de variação muito distintos, recomendamos realizar estudos RR distintos.
- Escolher o método de conduzir e analisar o estudo.
- Alguns pontos importantes devem ser levados em consideração para a aplicação e do estudo de R&R.
- Objetivo do estudo controle de produto ou controle de processo
- Sistema de medição: deve ser verificado se o sistema avaliado possui reprodutibilidade e repetibilidade, pois há alguns sistemas que se utilizam de instrumentos de medição que funcionem com mínima ação ou influência do operador como instrumentos onde um gatilho é acionado movimentando o instrumento nestes casos devem ser aplicados somente o estudo repetibilidade, assim sendo nesta situação a reprodutibilidade pode ser considerado como desprezível.
- A quantidade de operadores sendo que estes devem utilizar-se do sistema de medição para participar do estudo
- A peça sempre quando possível deve possuir a maior quantidade de características oriunda do processo de fabricação.
- Quantidade de peças
- Quantidades de Medidas a serem realizadas
- Quantidade de características de processo a peça possui

- A escolha aleatória dos operadores que irão participar do estudo  
Após a definição dos pontos acima e a definição de qual a aplicação será utilizada deve ser definido um índice para auxiliar o estudo e seu entendimento.

- **Variabilidade de Processo - VP:** A variabilidade de processo é a variabilidade observada durante o processo de medição, esta pode ser obtida através de vários meios, normalmente os mais utilizados são a metodologia ANOVA e a de média e Amplitudes.

Para calcular o valor do R&R e necessário a utilização das equações abaixo.

- **Variabilidade Total– VT:** A variabilidade total é a soma das variabilidades oriundas do processo e do sistema de medição seu calculo pode ser realizado utilizando-se a equação:

$$VT = \sqrt{RR^2 + VP^2}$$

ou

$$VT = \sqrt{VE^2 + VO^2 + VP^2}$$

- **Controle de Produto:**

$$\%RR = \frac{6RR}{Tolerância} 100\%$$

- **Controle de Processo**

$$\%RR = \frac{RR}{VT} 100\%$$

Dentro da análise da variabilidade do SM o fator NDC (Numero de Categorias Distintas), fator este que indica q quantidade de categorias nas quais o processo de medição podem se dividir.

O NDC deve ser maior ou igual a cinco e é aplicado somente para sistema de medição cujo propósito é analisar um processo, sendo definido pela seguinte equação:

$$NDC = 1,41 \frac{VP}{RR}$$

Depois de realizados o cálculo pode verificar em qual faixa dos critérios do RR o resultado se encaixa.

Para um sistema de medição cujo propósito é analisar um processo, uma regra geral para aceitar um sistema de medição é definida na seguinte tabela:

Tabela 01: Critérios de Aceitação

RR	Decisão	Comentários
Abaixo de 10%	Sistema de medição geralmente considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controle apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Poder ser aceito para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada, primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo. O sistema de medição deve ser aprovado pelo cliente.
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição. Esta condição pode ser resolvida pelo uso de uma estratégia apropriada para a medição; por exemplo, utilizar a média de diversas medições da mesma característica da mesma peça a fim de reduzir a variabilidade da medida final.

Fonte: ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO – MSA 3ª Edição

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizados os materiais indicados abaixo.

- **Instrumentos de medição**
  - 1 Paquímetro digital cuja resolução é de 0,01mm;
  - 1 Goniômetro de resolução de 0,15';
  - 1 Escala Graduada.
- **Corpo de Prova**
  - 10 CDP's para medição linear, fabricados com chapa de aço;
  - 10 CDP's para medição de altura de aba e ângulo, fabricados com chapa de aço.
- **Material de Apoio a Medição**
  - Mesa de desempenho;
  - Planilha (tabela) para a anotação das medições.
- **Material de Apoio para Cálculos.**
  - Planilha para calculo de R&R.
- **Materiais de Apoio e Programas de informática.**
  - Computador (notebook) Processador Intel CORE™I3 4 GB RAM 512 GB de Memória;
  - Programa Microsoft™ Excel;
  - Programa Microsoft™ Word.



### 3.2 Método

Para realização do presente estudo foi adotado a metodologia de pesquisa exploratória para compreender a validação de um SM baseando-se na aplicação do estudo de R&R, para isto foi adotado a metodologia a seguir.

O estudo realizado baseia-se na pesquisa dos métodos de realização de estudos de R&R, na confecção de CDP's para servirem de base para o estudo, experimentação através da realização do ensaio de medição, compilação dos dados obtidos e a realização dos cálculos através de uma planilha existente, onde há uma mascara para o calculo automático.

Sendo que para este estudo foram utilizados CDP's e não as peças processadas na área para a realização das medições.

Os CDP's escolhidos possuem os principais tipos de medições realizadas nos produtos fabricados na área produtiva, sendo as características avaliadas: Medida linear, altura da aba onde em alguns casos a altura foi medida utilizando-se a projeção do vértice e o ângulo da aba.

Figura 16: Exemplo de medida linear



Fonte: <http://img.banggood.com/>

Figura 17: Exemplo de Medida de ângulo com goniômetro



Fonte: <http://www.mitutoyo.co.jp/>

Figura 18: Exemplo de Medida de aba com próximo de 90°



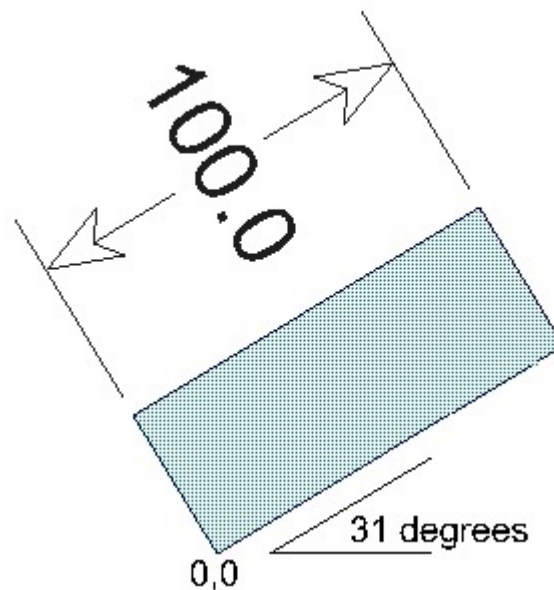
Fonte: <http://www.defelsko.com/>

Figura 19: Exemplo de Medida de aba com quando valor deve ser obtido pelo vértice



Fonte: <http://www.thisiscarpentry.com/>

Figura 20: Representação de quando o valor deve ser obtido pelo vértice



Fonte: <https://awrcorp.com/>

A realização do ensaio seguiu as recomendações indicadas pelo Manual do MS 4ª Ed e conforme exposto na revisão bibliográfica deste trabalho, sendo que estas recomendações são para que não ocorra a manipulação dos resultados dos estudos:

- O responsável por aplicar o estudo na área produtiva, não deve pertencer diretamente à área avaliada. Normalmente é utilizado alguém de uma área de apoio geralmente pertencente à área da qualidade.
- O aplicador é quem tem a responsabilidade de acompanhar e registrar os valores das medições, a entrega dos CDP's aos operadores, garantindo que o estudo não tenha seu resultado manipulado;
- Escolha aleatória de cinco operadores que atuam na área avaliada;
- Utilização de 10 CDP's por característica avaliada;
- Realização de três medições por CDP;
- Os CDP's foram identificados numericamente de 1 a 10 sem qualquer indicação quanto ao valor real do CDP;
- Não permitir aos operadores a visualização dos valores anotados;
- Utilização de instrumentos de medição calibrados;
- Instrumentos de medição utilizados no estudo foram: paquímetro e goniômetro;
- A planilha utilizada para os cálculos foi disponibilizada em um curso;

- Medições realizadas no período das 14:00 às 15:00.

Para a realização das medições foram confeccionados 20 CDP's, onde 10 foram confeccionados para a medição linear (podemos considerar como largura) e outros 10 onde foram realizadas as medições de altura de abas e o ângulo da aba.

Assim o objetivo deste estudo é a verificação se as não conformidades ocorridas na linha de produção podem ter origem na utilização de um SM inadequado, através do estudo de R&R em três características mais verificadas nos produtos processados na área.

### **3.1 Estudo de Caso**

Realizou-se o estudo em uma empresa de grande porte, situada no município de Botucatu, estado de São Paulo, inserida no ramo de metalurgia.

A aplicação do estudo de R&R normalmente é uma atividades atribuídas à área de Engenharia da Qualidade, área na qual está inserida a função e atividades de Técnico da qualidade, o qual está voltado a atuar no tratamento corretivamente e preventivamente nas não conformidades que ocorram na área produtiva.

Neste estudo o responsável por aplicar o estudo na área produtiva foi o técnico da qualidade, o qual está inserido como área de apoio junto área da produção a qual foi avaliada, onde houve a atuação em conjunto da engenharia da qualidade.

Sendo assim a validação e verificação dos SM é uma das maneiras de atuar de modo preventivo, buscando através do controle do SM e utilizando-se do estudo de R&R para a verificação.

Se considerarmos que o SM tenha a capacidade de garantir que os requisitos dimensionais, especificados através do projeto ou da solicitação do cliente, seja atendido de maneira satisfatória, à probabilidade de ocorrência de uma não conformidade são reduzidos.

O controle do SM através do estudo de R&R também pode ser uma das exigências para que se possa conseguir um certificado de qualidade assegurada perante o cliente.

Para iniciar o estudo de caso relatado, foi necessário verificar as principais características medidas na AP (Área produtiva) avaliada. Para essa atividade foi verificado uma amostra de 20 ordens de fabricação na AP, onde em sua maioria a atividade a ser realizada era referente à ajustagem de peça para garantindo uma medida linear, sendo que grande parte das peças também apresentava a necessidade de garantir a medida de aba, além de verificar o ângulo da aba.

Após a definição de quais seriam as características a serem avaliadas utilizando da amostragem feita, foi definido o range de variação o qual seria aplicado aos CDP's.

Realizado o levantamento inicial sobre quais características seriam avaliadas, foi iniciado o processo para definir os CDP's que seriam utilizados, desta forma foram definidos os CDP's que iriam atender as características que seriam avaliadas.

Todos os CDP's foram identificados na superfície com uma numeração de 1 á 10, a marcação foi realizada utilizando-se um punção.

Definido quais seriam as dimensões para cada característica a ser avaliada no CDP, os mesmos foram fabricados, utilizando como matéria prima uma chapa na espessura de 2,54mm (". 100). Os CDP's foram confeccionados buscando atender as dimensões especificadas na tabela abaixo.

Tabela 02: Dimensão Pretendida de Medida Linear

CDP's Medida Linear pretendida		
CDP	Comprimento	Largura "X"
1	100	14,55
2	100	19,30
3	100	26,40
4	100	32,60
5	100	37,85
6	100	42,20
7	100	51,40
8	100	64,80
9	100	78,30
10	100	143,70

Fonte: Estudo de Caso

Tabela 03: Dimensão Pretendida de Altura de Aba

CDP	Altura Pretendida da Aba
1	5,00
2	8,00
3	10,00
4	12,50
5	14,80
6	15,50
7	19,30
8	22,40
9	25,10
10	28,70

Fonte: Estudo de Caso

Tabela 04: Dimensão Pretendida de Ângulo

CDP	Ângulo da aba
1	90,00
2	95,00
3	84,00
4	76,00
5	45,00
6	115,00
7	105,00
8	98,00
9	87,00
10	83,00

Fonte: Estudo de Caso

Todos os CDP's foram identificados de modo a não haver dois CDP's para verificar a mesma característica, essa marcação foi feita através de punção com um numero, sendo este de 1 á 10, sendo que a marcação foi realizada na superfície da chapa o qual serviu de identificação do CDP.

Para escolher quais operadores iriam participar do estudo, foi definido como critério de corte neste estudo que somente operadores com um ano ou mais na área analisada poderiam participar, desse modo, de quatorze operadores da área produtiva, onze se tornaram elegíveis de acordo com o critério. Esse critério tem como objetivo evitar à manipulação ou direcionamento do estudo, já que operadores com 1 ano ou menos ainda devem ser acompanhados por um instrutor. Dentre os onze operadores que estavam aptos a participar do estudo, foi realizado um sorteio para a escolha de cinco deles.

Após a escolha dos operadores foi levantado o perfil abaixo de cada operador conforme segue abaixo.

Tabela 05: Perfil dos Operadores

Operador	Tempo na Função (Anos)	Idade
A	8,00	37,00
B	5,00	25,00
C	7,00	29,00
D	11,00	33,00
E	4,00	23,00
Média	7,00	29,40

Fonte: Estudo de Caso

Com a definição de quais os operadores iriam participar, foram definidos alguns procedimentos que estão baseados na revisão de literatura, para que se possa iniciar o processo de medição e coleta dos dados.

Através dos procedimentos e ou requisitos adotados, foi definido que durante as medições nenhum dos operadores acompanharia a medição de outro. Também não tiveram acesso a nenhuma das medições realizadas pelo próprio operador nem as medições realizadas por outro.

Foi disponibilizado ao operador um instrumento de medição devidamente calibrado, e solicitado ao mesmo para verificar o instrumento após a realização de cada leitura de medida, esse método serve para garantir a medida do instrumento além de também dificultar com que o operador tente memorizar o valor encontrado durante a medição.

As medições foram realizadas utilizando somente um operador por vez, de modo que o operador fica-se distante dos demais operadores que participaram do estudo.

Os CDP's foram entregues ao operador sem nenhuma ordem pré-determinada para realização da primeira medição do CDP, somente sendo entregue o próximo após a medição ser concluída, assim nenhum dos operadores repetiu a primeira sequência de medição de CDP's do operador anterior, depois de medidos os 10 CDP's o próprio operador definiu a sequência de medição.

Não foi permitido ao operador ter acesso aos valores anotados das medições realizadas por ele nem a de outro operador, também foi esperado no mínimo dois dias de intervalo antes de realizar a medição da mesma característica nos mesmos CDP com outro operador.

Figura 21: Tabela coleta de medições

Nome	xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxxxx xxxxxx						Data	xx/xx		
Identificação do Operador	X	Característica Avaliada				xxxxxxxxxxxxx				
Instrumento	Paquímetro				Val. Calibração	02/2016				
Peça Avaliada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Medição 1										
Medição 2										
Medição 3										

Fonte: Estudo de Caso

Com esses requisitos definidos foi iniciado o processo de medição e coleta de dados com todos os operadores.

A seguir segue os valores obtidos durante as medições.

Tabela 06: Valores coletados medição linear

Característica Avaliada: Medida linear											
Operador	Peça Avaliada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Medição 1	14,54	19,27	26,37	32,56	37,83	42,15	51,38	64,74	78,25	143,67
A	Medição 2	14,55	19,28	26,34	32,55	37,83	42,19	51,41	64,73	78,25	143,68
A	Medição 3	14,54	19,26	26,38	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,26	143,70
B	Medição 1	14,56	19,27	26,40	32,57	37,86	42,18	51,40	64,77	78,25	143,68
B	Medição 2	14,55	19,25	26,41	32,59	37,89	42,16	51,39	64,75	78,24	143,71
B	Medição 3	14,58	19,29	26,39	32,58	37,87	42,18	51,39	64,76	78,27	143,68
C	Medição 1	14,56	19,29	26,38	32,57	37,84	42,16	51,41	64,78	78,26	143,70
C	Medição 2	14,57	19,28	26,38	32,57	37,84	42,17	51,41	64,76	78,27	143,70
C	Medição 3	14,57	19,29	26,39	32,58	37,84	42,17	51,40	64,77	78,26	143,69
D	Medição 1	14,55	19,28	26,38	32,59	37,85	42,17	51,40	64,76	78,27	143,68
D	Medição 2	14,56	19,27	26,38	32,58	37,85	42,18	51,40	64,77	78,28	143,70
D	Medição 3	14,56	19,28	26,39	32,59	37,86	42,18	51,40	64,76	78,27	143,68
E	Medição 1	14,55	19,28	26,37	32,57	37,85	42,17	51,39	64,74	78,26	143,68
E	Medição 2	14,55	19,27	26,37	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,27	143,67
E	Medição 3	14,55	19,27	26,38	32,58	37,86	42,16	51,39	64,75	78,25	143,69

Fonte: Estudo de Caso



Tabela 07: Valores coletados medição de altura de aba

Característica Avaliada: Altura Aba											
Operador	Peça Avaliada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Medição 1	5,00	8,00	10,02	12,47	14,77	15,48	19,30	22,42	25,13	28,66
A	Medição 2	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,50	19,30	22,42	25,13	28,66
A	Medição 3	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,48	19,30	22,42	25,12	28,64
B	Medição 1	5,01	8,01	10,00	12,48	14,78	15,48	19,31	22,42	25,13	28,67
B	Medição 2	5,00	8,01	9,98	12,49	14,77	15,47	19,31	22,40	25,13	28,66
B	Medição 3	5,01	8,00	9,97	12,49	14,78	15,48	19,32	22,40	25,13	28,67
C	Medição 1	5,00	7,99	10,00	12,48	14,76	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66
C	Medição 2	5,03	7,99	10,00	12,49	14,76	15,46	19,30	22,42	25,13	28,66
C	Medição 3	5,01	7,99	9,98	12,49	14,77	15,47	19,29	22,41	25,14	28,66
D	Medição 1	5,00	8,01	9,99	12,48	14,76	15,47	19,30	22,43	25,13	28,67
D	Medição 2	5,00	8,01	9,99	12,48	14,77	15,47	19,30	22,42	25,13	28,66
D	Medição 3	5,00	8,01	10,00	12,50	15,76	15,47	19,29	22,42	25,14	28,67
E	Medição 1	5,00	8,02	10,00	12,49	14,78	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66
E	Medição 2	5,00	8,00	10,00	12,49	14,78	15,47	19,30	22,40	25,11	28,66
E	Medição 3	4,98	8,00	9,99	12,51	14,76	15,47	19,30	22,42	25,13	28,68

Fonte: Estudo de Caso

Tabela 08: Valores coletados medição de ângulo

Característica Avaliada: Ângulo											
Operador	Peça Avaliada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Medição 1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
A	Medição 2	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
A	Medição 3	89,75	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
B	Medição 1	90,00	95,00	84,15	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
B	Medição 2	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
B	Medição 3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
C	Medição 1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
C	Medição 2	89,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	97,75	87,00	83,00
C	Medição 3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
D	Medição 1	90,00	95,00	84,15	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
D	Medição 2	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
D	Medição 3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	114,00	105,00	98,00	87,00	83,00
E	Medição 1	90,00	95,15	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
E	Medição 2	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00
E	Medição 3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00

Fonte: Estudo de Caso

Conforme as medições eram realizadas os valores obtidos eram anotados em uma versão impressa da planilha “Planilha de Coleta de Medições”.

Após a coleta das medições na área produtiva os resultados obtidos foram lançados na versão eletrônica da planilha “Planilha de Coleta de Medições”. Depois que os resultados foram inseridos nesta planilha, foram avaliados e inseridos em uma planilha de Excel criada para realização dos cálculos do estudo de R&R. Nesta planilha há uma máscara para o cálculo de R&R, bastando somente que os valores coletados das medições sejam inseridos nesta planilha para que os cálculos sejam realizados automaticamente.

#### **4 RESULTADOS E DISCUÇÕES**

A abordagem deste assunto teve como base a utilização da filosofia de manufatura enxuta, pois conforme abordado na revisão de literatura, o CEP (Controle Estatístico do Processo) e o R&R são ferramentas voltadas ao controle do processo, portanto se fez necessário a elaboração do presente estudo, como forma de monitoramento e avaliação do processo verificado.

Após a coleta das medições e com os valores inseridos na tabela de cálculo de R&R, foram obtidos os resultados apresentados a seguir. Conforme verificado, foi constatado que o sistema de medição adotado na área produtiva em relação às características avaliadas está adequado, tanto se avaliarmos o estudo de R&R como controle de produto, como se avaliado como controle de processo, em ambos os casos os resultados estão aceitáveis.

Abaixo seguem imagens das tabelas de cálculo de R&R, tanto referente ao controle de produto como controle processo, após as imagens estão às tabelas resumindo os resultados obtidos.

Figura 22: Planilha de cálculo de R&amp;R Produto medição linear

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PRODUTO												Data:	agosto-2015									
DESCRIÇÃO DO MATERIAL				CARACTERÍSTICA AVALIADA				É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM														
CDP - Chapa Aço				Medição Linear				SI	NÃO	X												
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE MED.			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO			VALIDADE CALIBRAÇÃO			02/02/16													
Paquímetro Digital			0,01																			
AMPLITUDE TOLERÂNCIA /			0,800 mm		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE 05													
Operador	Medição	PEÇAS										MÉDIAS		Cálculos								
A	1º	14,54	19,27	26,37	32,56	37,83	42,15	51,38	64,74	78,25	143,67	51,076	$\bar{X}_a$	$R_a$								
	2º	14,55	19,28	26,34	32,55	37,83	42,19	51,41	64,73	78,25	143,68	51,081	51,082	0,024								
	3º	14,54	19,26	26,36	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,26	143,70	51,088										
1º	14,56	19,27	26,40	32,57	37,86	42,18	51,40	64,77	78,25	143,68	51,094	$\bar{X}_b$			$R_b$							
B	2º	14,55	19,25	26,41	32,59	37,89	42,16	51,39	64,75	78,24	143,71	51,094	51,096	0,025								
	3º	14,58	19,29	26,39	32,58	37,87	42,18	51,39	64,76	78,27	143,68	51,099										
	1º	14,56	19,29	26,38	32,57	37,84	42,16	51,41	64,78	78,26	143,70	51,095			$\bar{X}_c$	$R_c$						
C	2º	14,57	19,28	26,38	32,57	37,84	42,17	51,41	64,76	78,27	143,70	51,095	51,095	0,010								
	3º	14,57	19,29	26,39	32,58	37,84	42,17	51,40	64,77	78,26	143,69	51,096										
	1º	14,55	19,28	26,38	32,59	37,85	42,17	51,40	64,76	78,27	143,68	51,093			$\bar{X}_d$	$R_d$						
D	2º	14,56	19,27	26,38	32,58	37,85	42,18	51,40	64,77	78,28	143,70	51,097	51,096	0,010								
	3º	14,56	19,28	26,39	32,59	37,86	42,18	51,40	64,76	78,27	143,68	51,097										
	1º	14,55	19,28	26,37	32,57	37,85	42,17	51,39	64,74	78,26	143,68	51,086			$\bar{X}_e$	$R_e$						
E	2º	14,55	19,27	26,37	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,27	143,67	51,087	51,087	0,020								
	3º	14,55	19,27	26,38	32,58	37,86	42,16	51,39	64,75	78,25	143,69	51,088										
	<b>MÉDIA DAS PEÇAS</b>											14,556			19,275	26,381	32,576	37,850	42,171	51,398	64,756	78,261
											51,091			129,131								

RESULTADO ( %) (VARIACÃO DA TOLERÂNCIA):		
Variacão Instrumento	Variacão Operador	R&R
7,89	5,30	9,50

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Fonte: Estudo de Caso

Figura 23: Planilha de cálculo de R&amp;R Produto altura de aba

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PRODUTO												Data:	setembro-2015									
DESCRIÇÃO DO MATERIAL				CARACTERÍSTICA AVALIADA				É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM														
CDP - Chapa Aço dobrada				Altura da aba				SI	NÃO	X												
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO			VALIDADE CALIBRAÇÃO			02/02/16													
Paquímetro Digital			0,01																			
AMPLITUDE TOLERÂNCIA /			1,800 mm		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 05													
Operador	Medição	PEÇAS										MÉDIAS		Cálculos								
A	1º	5,00	8,00	10,02	12,47	14,77	15,48	19,30	22,42	25,13	28,66	16,125	$\bar{X}_a$	$R_a$								
	2º	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,50	19,30	22,42	25,13	28,66	16,131	16,127	0,009								
	3º	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,48	19,30	22,42	25,12	28,64	16,126										
1º	5,01	8,01	10,00	12,48	14,78	15,48	19,31	22,42	25,13	28,67	16,129	$\bar{X}_b$			$R_b$							
B	2º	5,00	8,01	9,98	12,49	14,77	15,47	19,31	22,40	25,13	28,66	16,122	16,125	0,012								
	3º	5,01	8,00	9,97	12,49	14,78	15,48	19,32	22,40	25,13	28,67	16,125										
	1º	5,00	7,99	10,00	12,48	14,76	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66	16,121			$\bar{X}_c$	$R_c$						
C	2º	5,03	7,99	10,00	12,49	14,76	15,48	19,30	22,42	25,13	28,66	16,124	16,122	0,012								
	3º	5,01	7,99	9,98	12,49	14,77	15,47	19,29	22,41	25,14	28,66	16,121										
	1º	5,00	8,01	9,99	12,48	14,76	15,47	19,30	22,43	25,13	28,67	16,124			$\bar{X}_d$	$R_d$						
D	2º	5,00	8,01	9,99	12,48	14,77	15,47	19,30	22,42	25,13	28,66	16,123	16,158	0,107								
	3º	5,00	8,01	10,00	12,50	15,76	15,47	19,29	22,42	25,14	28,67	16,226										
	1º	5,00	8,02	10,00	12,49	14,78	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66	17,028			$\bar{X}_e$	$R_e$						
E	2º	5,00	8,00	10,00	12,49	14,78	15,47	19,30	22,40	25,11	28,66	16,121	16,123	0,025								
	3º	4,98	8,00	9,99	12,51	14,76	15,47	19,30	22,42	25,13	28,68	16,124										
	<b>MÉDIA DAS PEÇAS</b>											5,005			8,001	9,997	12,488	14,836	15,475	19,300	22,416	25,129
											16,131			23,657								

RESULTADO ( %) (VARIACÃO DA TOLERÂNCIA):		
Variacão	Variacão	R&R
6,50	6,10	8,92

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Fonte: Estudo de Caso

Figura 24: Planilha de cálculo de R&amp;R Produto ângulo da aba

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PRODUTO										Data:	julho-2014		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL					CARACTERÍSTICA AVALIADA					É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM			
CDP - Chapa Aço dobrada					Angularidade da aba					SIM		NÃO	X
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE MED.			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO				VALIDADE CALIBRAÇÃO			09/mar/16			
Goniometro			0,025										
AMPLITUDE TOLERÂNCIA /			2,000		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 05				

		PEÇAS										MÉDIAS		Cálculos		
Operador	Medição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
A	0	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	$\bar{x}_a$	$R_a$	87,792	0,025
	1	83,75	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,775				
	2	90,00	95,00	84,25	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,825	$\bar{x}_b$	$R_b$		
B	3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			87,808	0,025
	1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	$\bar{x}_c$	$R_c$		
	2	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800				
C	3	83,75	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	97,75	87,00	83,00	87,750			87,783	0,050
	1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	$\bar{x}_c$	$R_c$		
	2	90,00	95,00	84,25	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,825				
D	3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			87,792	0,075
	1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	114,50	105,00	98,00	87,00	83,00	87,750	$\bar{x}_c$	$R_c$		
	2	90,00	95,15	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,815				
E	3	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			87,805	0,025
	1	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	$\bar{x}_{bar}$	$R_p$		
	2	83,967	95,010	84,033	76,000	45,000	114,967	105,000	97,983	87,000	83,000	87,796				

RESULTADO ( % ) (VARIACÃO DA TOLERÂNCIA):		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
7,09	3,70	8,00

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Fonte: Estudo de Caso

Tabela 09: Resultado dos cálculos para controle de produto

RESULTADO CONTROLE DE PRODUTO		
Medição Linear		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
7,89	5,30	9,50
Medição Altura de Aba		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
6,50	6,10	8,92
Medição Ângulo		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
7,09	3,70	8,00

Fonte: Estudo de Caso

Figura 25: Planilha de cálculo de R&R Processo medição linear

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PROCESSO										Data:	agosto-2015	
DESCRIÇÃO DO MATERIAL			CARACTERÍSTICA AVALIADA							É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM		
CDP - Chapa Aço			Medição Linear							SI	MÃO	X
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE MED.			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO				VALIDADE CALIBRAÇÃO			02/02/16		
Paquímetro Digital			0,01									
AMPLITUDE TOLERÂNCIA /			0,800 mm		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 05			

Operador	Medição	PEÇAS										MÉDIAS		Cálculos	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Z <sub>a</sub>	R <sub>a</sub>		
A	1°	14,54	19,27	26,37	32,56	37,83	42,15	51,38	64,74	78,25	143,67	51,076	51,082	0,024	
	2°	14,55	19,28	26,34	32,55	37,83	42,19	51,41	64,73	78,25	143,68	51,081			
	3°	14,54	19,26	26,38	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,26	143,70	51,088			
B	1°	14,56	19,27	26,40	32,57	37,86	42,18	51,40	64,77	78,25	143,68	51,094	51,096	0,025	
	2°	14,55	19,25	26,41	32,59	37,89	42,16	51,39	64,75	78,24	143,71	51,094			
	3°	14,58	19,29	26,39	32,58	37,87	42,18	51,39	64,76	78,27	143,68	51,099			
C	1°	14,56	19,29	26,38	32,57	37,84	42,16	51,41	64,78	78,26	143,70	51,095	51,095	0,010	
	2°	14,57	19,28	26,38	32,57	37,84	42,17	51,41	64,76	78,27	143,70	51,095			
	3°	14,57	19,29	26,39	32,58	37,84	42,17	51,40	64,77	78,26	143,69	51,096			
D	1°	14,55	19,28	26,38	32,59	37,85	42,17	51,40	64,76	78,27	143,68	51,093	51,097	0,010	
	2°	14,56	19,27	26,38	32,58	37,85	42,18	51,40	64,77	78,28	143,70	51,097			
	3°	14,56	19,28	26,39	32,59	37,86	42,18	51,40	64,76	78,27	143,68	51,097			
E	1°	14,55	19,28	26,37	32,57	37,85	42,17	51,39	64,74	78,26	143,68	51,086	51,087	0,020	
	2°	14,55	19,27	26,37	32,58	37,84	42,17	51,40	64,75	78,27	143,67	51,087			
	3°	14,55	19,27	26,38	32,58	37,86	42,16	51,39	64,75	78,25	143,69	51,088			
MÉDIA DAS PEÇAS		14,556	19,275	26,381	32,576	37,850	42,171	51,398	64,756	78,261	143,687	Z <sub>bar</sub>	R <sub>p</sub>		
											51,091		129,131		

RESULTADO ( % ) (VARIACÃO DA TOLERÂNCIA):		
Variacão	Variacão	R&R
0,026	0,017	0,031

STATUS DO RESULTADO	
APROVADO	

Fonte: Estudo de Caso

Figura 26: Planilha de cálculo de R&R Processo altura da aba

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PROCESSO										Data:	setembro-2015	
DESCRIÇÃO DO MATERIAL			CARACTERÍSTICA AVALIADA							É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM		
CDP - Chapa Aço dobrada			Altura da aba							SI	MÃO	X
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO				VALIDADE CALIBRAÇÃO			02/02/16		
Paquímetro Digital			0,01									
AMPLITUDE TOLERÂNCIA /			1,800 mm		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 05			

Operador	Medição	PEÇAS										MÉDIAS		Cálculos	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Z <sub>a</sub>	R <sub>a</sub>		
A	1°	5,00	8,00	10,02	12,47	14,77	15,48	19,30	22,42	25,13	28,66	16,125	16,127	0,009	
	2°	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,50	19,30	22,42	25,13	28,66	16,131			
	3°	5,02	8,00	10,02	12,49	14,77	15,48	19,30	22,42	25,12	28,64	16,126			
B	1°	5,01	8,01	10,00	12,48	14,78	15,48	19,31	22,42	25,13	28,67	16,129	16,125	0,012	
	2°	5,00	8,01	9,98	12,49	14,77	15,47	19,31	22,40	25,13	28,66	16,122			
	3°	5,01	8,00	9,97	12,49	14,78	15,48	19,32	22,40	25,13	28,67	16,125			
C	1°	5,00	7,99	10,00	12,48	14,76	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66	16,121	16,122	0,012	
	2°	5,03	7,99	10,00	12,49	14,76	15,46	19,30	22,42	25,13	28,66	16,124			
	3°	5,01	7,99	9,98	12,49	14,77	15,47	19,29	22,41	25,14	28,66	16,121			
D	1°	5,00	8,01	9,99	12,48	14,76	15,47	19,30	22,43	25,13	28,67	16,124	16,158	0,107	
	2°	5,00	8,01	9,99	12,48	14,77	15,47	19,30	22,42	25,13	28,66	16,123			
	3°	5,00	8,01	10,00	12,50	15,76	15,47	19,29	22,42	25,14	28,67	16,226			
E	1°	5,00	8,02	10,00	12,49	14,78	15,48	19,29	22,42	25,13	28,66	17,028	16,123	0,025	
	2°	5,00	8,00	10,00	12,49	14,78	15,47	19,30	22,40	25,11	28,66	16,121			
	3°	4,98	8,00	9,99	12,51	14,76	15,47	19,30	22,42	25,13	28,68	16,124			
MÉDIA DAS PEÇAS		5,005	8,001	9,997	12,488	14,836	15,475	19,300	22,416	25,129	28,663	Z <sub>bar</sub>	R <sub>p</sub>		
											16,131		23,657		

RESULTADO ( % ) (VARIACÃO DA TOLERÂNCIA):		
Variacão	Variacão	R&R
0,262	0,246	0,359

STATUS DO RESULTADO	
APROVADO	

Fonte: Estudo de Caso

Figura 27: Planilha de cálculo de R&amp;R Processo ângulo da aba

REPETIBILIDADE & REPRODUTIBILIDADE CONTROLE DE PROCESSO											Data:	julho-2014		
DESCRIÇÃO DO MATERIAL				CARACTERÍSTICA AVALIADA							É CARACTERÍSTICA CHAVE DO ITEM			
CDP - Chapa Aço dobrada				Ângulo da aba							SIM		NÃO	X
DESCRIÇÃO DO INSTRUMENTO DE MED.			RESOLUÇÃO DO INSTRUMENTO				VALIDADE CALIBRAÇÃO				09/mar/16			
Goniometro			0,025											
AMPLITUDE TOLERÂNCIA / PEÇAS			2,000		QTDE PEÇAS: 10		QTDE MEDIÇÕES: 03		QTDE AVALIADORES: 05					

Operador	Medição	PEÇAS										MÉDIAS	Cálculos		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		$\bar{x}_a$	$R_a$	
A	1'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	87,792	0,025	
	2'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
	3'	89,75	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,775			
B	1'	90,00	95,00	84,25	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,825	87,808	0,025	
	2'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
	3'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
C	1'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800	87,783	0,050	
	2'	89,75	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	97,75	87,00	83,00	87,750			
	3'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
D	1'	90,00	95,00	84,25	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,825	87,792	0,075	
	2'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
	3'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	114,50	105,00	98,00	87,00	83,00	87,750			
E	1'	90,00	95,15	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,815	87,805	0,025	
	2'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
	3'	90,00	95,00	84,00	76,00	45,00	115,00	105,00	98,00	87,00	83,00	87,800			
<b>MÉDIA DAS PEÇAS</b>		89,967	95,010	84,033	76,000	45,000	114,967	105,000	97,983	87,000	83,000	$\bar{x}_{bar}$	87,796	$R_p$	69,967

RESULTADO ( % ) (VARIÇÃO DA TOLERÂNCIA):		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
0,107	0,056	0,121

STATUS DO RESULTADO
APROVADO

Fonte: Estudo de Caso

Tabela 10: Resultado dos cálculos para controle de processo

RESULTADO CONTROLE DE PROCESSO		
<b>Medição Linear</b>		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
0,03	0,02	0,03
<b>Medição Altura de Aba</b>		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
0,26	0,25	0,36
<b>Medição Ângulo</b>		
Varição Instrumento	Varição Operador	R&R
0,11	0,06	0,12

Fonte: Estudo de Caso

Assim ficou comprovado que o sistema de medição está apto para fabricação de peças dentro dos requisitos exigidos e, portanto, o SM pode ser validado.

Junto deste resultado também foi comprovado que as não conformidades ocorridas na área não estão ligadas a utilização de um sistema dimensional falho.

Portanto as não conformidades podem estar ligadas as outras causas do processo produtivo ou aos 4% de causas especiais observadas por Deming.

Devido ao resultado ter sido positivo, foi definido que será aplicada uma nova metodologia para o monitoramento do SM e do processo da área produtiva, onde a aplicação do estudo de R&R será realizada semestralmente, para que ocorra um acompanhamento periódico do processo.

Também foi definido que a partir do próximo estudo de R&R, os estudos não serão realizados utilizando-se de CDP's simulando as características a serem verificadas, pois o estudo passará a ser realizados diretamente nas peças produzidas pela área produtiva, para aplicação dessa nova metodologia será necessário um planejamento junto às demais áreas da empresa, visando não impactar a área produtiva em relação ao atendimento da fabricação de produtos, devido à realização do estudo nas peças.

Quanto à origem das não conformidades serão aplicados outros métodos para avaliar as outras possíveis causas, buscando identificar a causa raiz bem como as ações a serem tomadas.



## 5 CONCLUSÃO

Após a realização do estudo de R&R para validação do SM aplicado a área, foi constatada que o sistema de medição está adequado aos produtos e processos realizados na área produtiva.

Para isso foram avaliadas as medições relativas às seguintes características:

- Medição Linear;
- Altura de aba conformada;
- Ângulo de aba conformada.

Ficou evidenciado nos resultados apresentados nas tabelas 09 e 010, que o SM utilizado na área produtiva está adequado quanto às características avaliadas, conforme a tabela 01, assegurando o atendimento aos requisitos de controles dimensionais especificados aos produtos. Portanto o sistema de medição da área produtiva avaliada foi validado para a fabricação de peças pela área da qualidade.

E diante dos resultados obtido, concluí-se que as não conformidades ocorridas na área produtiva não estão ligadas a utilização de um sistema dimensional falho. Podendo ter origem em outras causas.

Anteriormente o estudo de R&R era realizado na criação e início das atividades das áreas produtiva, somente sendo realizado novamente quando ocorria uma grande mudança na área produtiva, como:

- Adição ou remoção de turnos de trabalho;
- Alteração quanto à mão de obra;
- Implantação de novos equipamentos;

- Também não havia uma programação para realização do estudo de R&R como forma de monitoramento do processo produtivo após a realização do primeiro estudo.

Durante a realização deste estudo foi definido que a partir do encerramento deste primeiro ciclo, a realização do estudo de R&R na área produtiva avaliada será semestralmente, como forma de monitoramento do processo produtivo.

Como o foco da manufatura enxuta é a melhoria contínua, e possível concluir que o estudo de R&R serve como forma de monitoramento constante do sistema de medição, indicando os pontos onde há necessidade de correção ou melhoria no sistema dimensional aplicado ao processo produtivo.

## REFERÊNCIAS

- ANÁLISE dos sistemas de medição**, Portal Action. Disponível em:  
<<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao>>. Acesso em: 03 Set 2015
- ANÁLISE dos Sistemas de medição – MSA 3ª Edição**. Disponível em:  
<<http://pt.slideshare.net/CarlosErnestoNatali/msa-35276606>>. Acesso em: 25 Jun 2015.
- AS oito dimensões da qualidade**, dezembro de 2011, COSTA, Ronaldo. Disponível em:  
<<http://www.qualiblog.com.br/garvin-as-oito-dimensoes-da-qualidade/>>. Acesso em: 27 Set. 2015
- CORTADA, J.W. **TQM – Gerência da Qualidade Total**. São Paulo, Makron Books, 1995.
- ESTATÍSTICA Aplicada à Análise de Resultados de Ensaios de Proficiência na Avaliação de Laboratórios**. ANVISA, INSTITUTO ADOLPHO LUTZ, 2003. Disponível em:  
<[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/10f6aa8047458b919543d53fbc4c6735/apostila\\_estatistica.pdf?MOD=AJPERES](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/10f6aa8047458b919543d53fbc4c6735/apostila_estatistica.pdf?MOD=AJPERES)>. Acesso em: 23 Jun 2015
- FONSECA, Mariana Paes. **A Análise do Sistema de Medição (MSA) como Ferramenta no Controle de Processos em uma Indústria de Dispositivos Médicos Descartáveis**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2008, 92p. Disponível em:  
<[http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008\\_3\\_Mariana-Paes.pdf](http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_3_Mariana-Paes.pdf)>. Acesso em: 27 Ago 2015
- GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.
- GRANDEZAS e Unidades**. INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS. Disponível em:  
<[http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=358&Itemid=284](http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=358&Itemid=284)>>. Acesso em: 24 Set 2015.
- IQA, Instituto da Qualidade Automotiva. **Fundamentos de Controle Estatístico do Processo, CEP**. Primeira Edição Brasileira Publicada em Junho de 1997.
- JUNIOR, A. A. G.; SOUZA, A.R. 2008; **Fundamentos da Metrologia científica e Industrial**. Editora Manole.
- JURAN. J.M. **Controle da Qualidade**. São Paulo, Makron Books, 1991.
- SISTEMA Internacional de Medidas**. INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS. Disponível em:  
<[http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=346&Itemid=273](http://www.ipem.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=346&Itemid=273)>. Acesso em: 24 Set 2015.

**METROLOGIA**, Apostila Telecurso 2000. Disponível em:  
<<http://bmalbert.yolasite.com/resources/Telecurso%202000%20-%20Metrologia.pdf>>.  
Acesso em: 17 Jul 2015.

**METROLOGIA Legal, Científica e Industrial**, INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Disponível em:  
<<http://www.inmetro.gov.br/>> Acesso em: 22 Ago 2015

**MSA Análise dos sistemas de medição ABDI**, 2013. Disponível em:  
<[http://www.abdi.com.br/Acao%20Documento%20Legislacao/Apostila%20MSA\\_PORTUGU%C3%8AS.pdf](http://www.abdi.com.br/Acao%20Documento%20Legislacao/Apostila%20MSA_PORTUGU%C3%8AS.pdf)>. Acesso em: 15 Jun 2015.

SILVA, Welbert Luiz. **Experiência na implantação da rotina de análise de sistemas de medição em uma indústria de autopeças**. 2002. 22f. Artigo - Ancona, Itália. 2002.

SILVA, Anderson César. **Uma Sistemática para Garantia da Qualidade Metrológica Aplicada em um Ambiente Industrial**. Florianópolis: UFSC, 2005, 108p.

SILVA, Domiciano Correa Marques Da. **Sistema Internacional de Unidades (SI); Brasil Escola**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/sistema-internacional-unidades-si.htm>>. Acesso em: 02 set 2015.

SILVA, L et al. **Avaliação da repetibilidade e reprodutibilidade dos ensaios referentes à norma EN12004 para cimentos-cola**. Disponível em:  
<<http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2034.pdf>>. Acesso em: 02 Jun 2015.