ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO EM UMA EMPRESA DE TREFILAÇÃO DE TUBOS DE AÇO

FELIPE RABELO RODRIGUES ALVES (PUC-GO)
eng.felipe.rabelo@gmail.com
MARTA PEREIRA DA LUZ (PUC-GO)
martapluz@gmail.com

Um sistema de medição adequado deve ser capaz de identificar com a maior precisão e exatidão possível as dimensões reais das peças produzidas, sob o risco de, quando mal dimensionado, reprovar peças conformes e/ou aprovar peças não conformes. Para o correto dimensionamento de um sistema de medição, é imprescindível o uso de ferramentas da qualidade, em especial as com conteúdos estatísticos, como a Análise dos Sistemas de Medição (MSA). Para definição de um instrumento de medição capaz de medir com qualidade de resultados o diâmetro externo de uma peça de tubo de aço trefilado, dentre os estudos do MSA, neste trabalho serão aplicados os de maior importância, sendo: Tendência e Linearidade; Estabilidade; Repetitividade e Reprodutividade (R&R). O intuito do trabalho foi avaliar qual o instrumento de medição melhor se adequava ao sistema de medição, comparando dois micrômetros externos com mesmas capacidades (0-25mm), porém com resoluções diferentes, um centesimal (0,01mm) e outro milesimal (0,001mm). Ambos instrumentos tiveram bons resultados nos estudos de tendência e linearidade, bem como nos estudos de estabilidade, porém, na realização do R&R, que engloba as tolerâncias do produto estudado, ficou claro que somente o instrumento com resolução milesimal atende ao sistema de medição.

Palavras-chave: MSA; Estudo R&R; Trefilação de tubos; Controle Estatístico da Qualidade.

1. Introdução

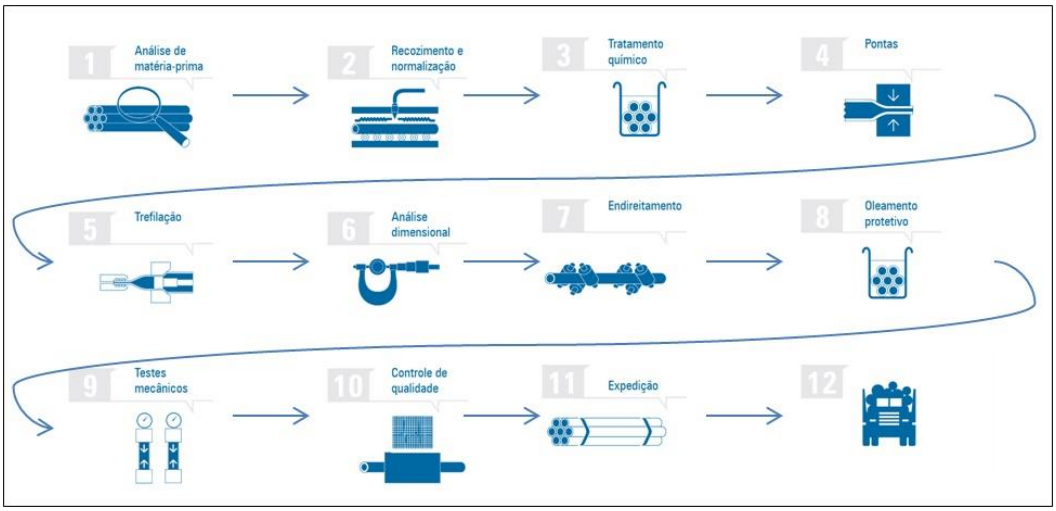
Uma das condições mais importante para que as empresas tenham sucesso no mercado é a competitividade, cujo nível é afetado por muitos fatores. Os constantes desafios da indústria de manufatura têm obrigado as empresas a aprimorarem seus processos industriais, investindo em sistemas mais capazes e eficientes, incluindo os processos metrológicos. As mudanças têm sido impulsionadas pela agregação de novas tecnologias ao desenvolvimento de produtos com precisões dimensionais cada vez mais rigorosas (KLAPUT *et al.*, 2016). A Análise do Sistema de Medição (MSA) é uma importante ferramenta de qualidade, que proporciona grandes saltos em termos de custos, produtividade e qualidade de produtos e processos, identificando componentes de variações nas avaliações de precisão dos instrumentos de medição utilizados nos sistemas de medição (SHU-GUANG HE *et al.*, 2011). Dentre os estudos do MSA, merece destaque o estudo de Repetitividade & Reprodutividade (R&R). Nos estudos de R&R, o dispositivo de medição é usado para medir repetidas vezes as amostras de um produto (PERUCHI *et al.*, 2014). O objetivo do estudo de R&R é determinar se a variabilidade do sistema de medição é relativamente menor que a variabilidade do processo.

2. Referencial teórico

2.1. Processo de trefilação

A trefilação é um processo mecânico de deformação à frio (Figura 01), que consiste na passagem de um tubo prismático, por uma ferramenta que determina o perfil externo, chamada fieira, e por uma ferramenta que define o perfil interno, chamada mandril, por meio de uma força de tração, delimitando os perfis e as medidas finais desejadas, conferindo-lhe maior precisão dimensional e melhor qualidade superficial (AÇOTUBO, 2016).

Figura 01 – Processo de Trefilação



Fonte: Adaptado de Açotubo (2016)

2.2. Sistemas de medição

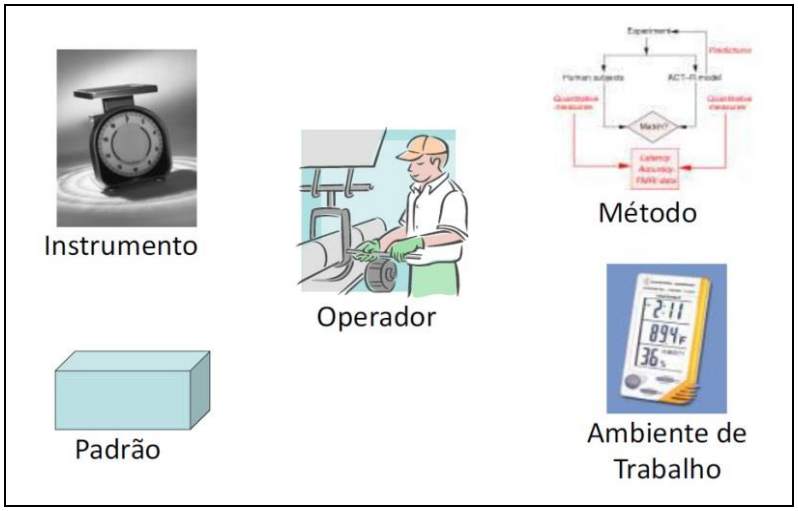
Sistema de medição (SM) é um conjunto formado por instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, *software*, pessoal, ambiente e premissas utilizadas para quantificar a unidade de medição ou corrigir a avaliação da característica que está sendo inspecionada. Trata-se do processo completo usado para obter as medições (AIAG, 2010).

A qualidade de um SM é verificada por propriedades estatísticas associadas a esse sistema. Outras características desejáveis em um SM são a facilidade de utilização e o seu custo de operação, ou seja, um correto SM também deve ser de operação ágil e fácil, além de ter baixo custo operacional. Por exemplo: instrumentos mais precisos e com resoluções melhores são mais caros, mas não necessariamente são os mais adequados a um SM.

Assim como nos demais processos, o SM está sujeito a vários tipos de variações que são relacionadas às causas comuns e causas especiais. A análise de um SM visa compreender as fontes de variação que influenciam nos resultados de medição. Hoje em dia, os dados de medição são usados para analisar e ajustar os processos, ou ainda como ferramenta para identificar se existe relação ou não entre duas ou mais variáveis. (ROTONDARO *et al.*, 2002).

Na figura 02 observam-se os componentes de um sistema de medição padrão.

Figura 02 – Componentes do sistema de medição



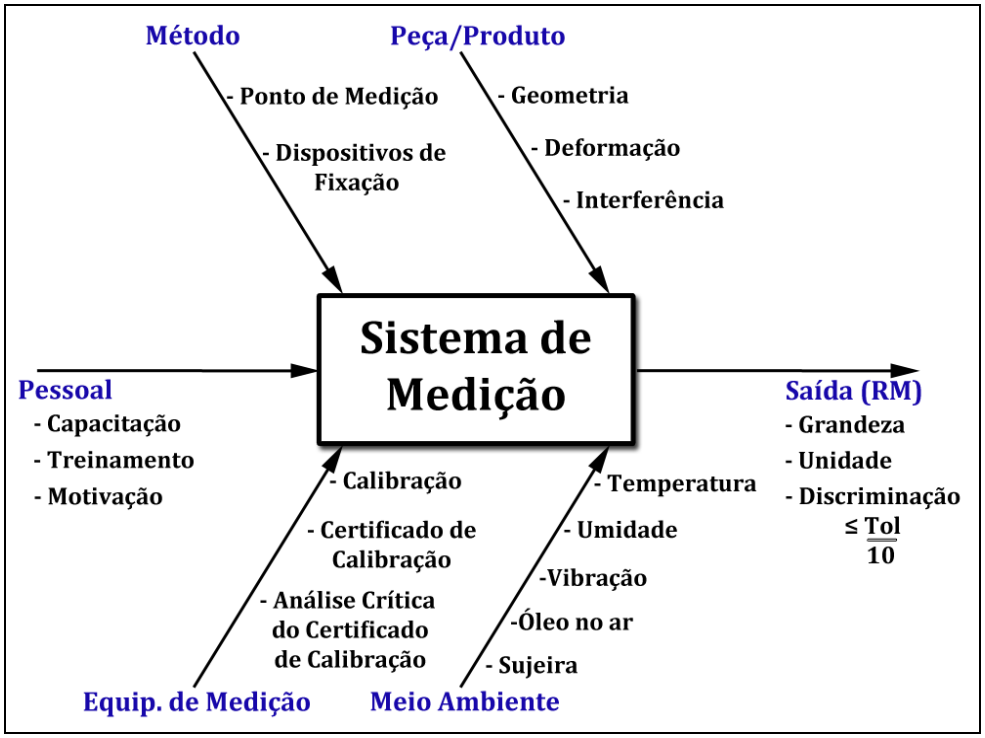
Fonte: Menezes (2013)

2.3. Fontes de variação

Um SM pode ser afetado por duas fontes de variação: a aleatória e a sistemática. Essas fontes de variação são provenientes de causas comuns e causas especiais. Conforme o Manual de MSA (*Measurement System Analysis*. Em português: Análise dos Sistemas de Medição), para controlar a variação do SM é necessário identificar as fontes de variação potenciais e eliminá-las ou monitorá-las (AIAG, 2010).

Os elementos essenciais de um sistema de medição são: padrão/peça, instrumento, pessoa, procedimento e o ambiente. Os fatores que afetam essas áreas precisam ser entendidos, para só então serem controlados ou eliminados. Na figura 03 observam-se algumas causas e fontes de variações.

Figura 03 – Componentes do sistema de medição



Fonte: Portal *Action* (2016)

2.4. Variação do processo de medição

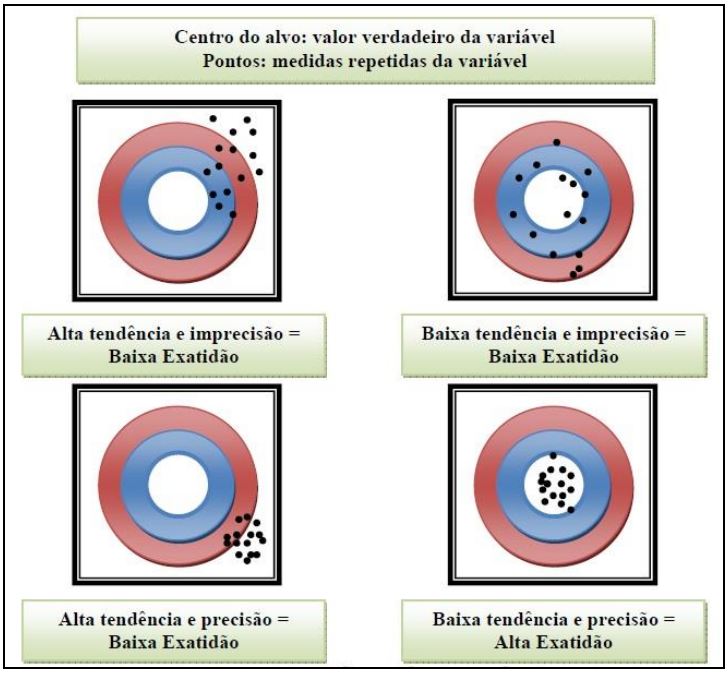
Na maioria dos processos de medição, a variação total é geralmente descrita como uma distribuição normal. A probabilidade normal é premissa base para os métodos utilizados na análise dos SM's.

Quando o SM não é normalmente distribuído e essa normalidade é assumida, pode haver a superestimação do erro do sistema, e para isso, é necessário corrigir as avaliações nesse caso.

2.4.1. Variação de localização

Exatidão – De acordo com a ISO (*International Organization for Standardization*) e a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), exatidão é a relação entre tendência e repetitividade. Em outras palavras, depende do grau de tendência e da precisão da medição.

Figura 04 – Exatidão x Tendência x Precisão

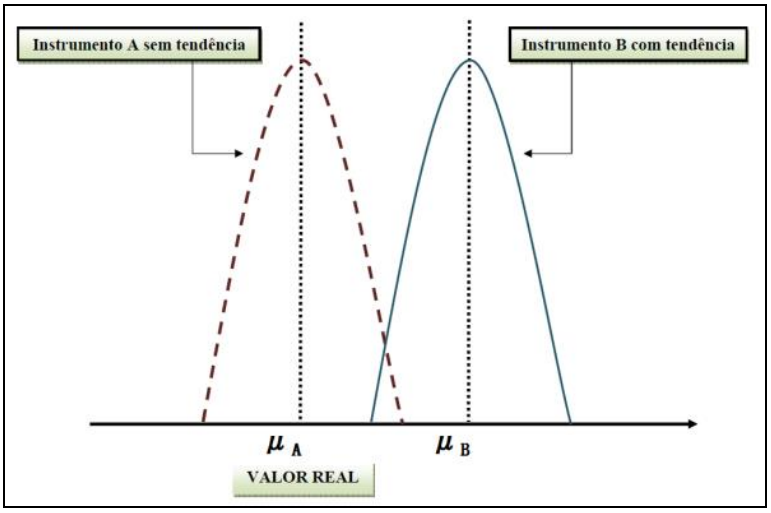


Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Tendência ou vício – A tendência quantifica a diferença que existe entre o valor real da característica medida e a média da distribuição dos resultados obtidos pelo instrumento de medição. Corresponde a uma parcela do erro total e é composta por efeitos combinados das fontes de variação, conhecidas ou desconhecidas.

As principais causas para uma tendência excessiva são: falta da calibração do equipamento de medição ou seu desgaste excessivo; erro de linearidade; instrumento de medição errado para a aplicação; inspeção da característica errada, ambiente; dimensão da peça; habilidade do operador; erro de paralaxe, entre outras.

Figura 05 – Tendência



Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Linearidade – A linearidade é explicada como a variação da tendência em relação ao tamanho medido. Suas causas são as mesmas da tendência. Sabendo que tendência é a diferença entre um valor de referência e a média observada das medições, tem-se que, a linearidade mede a variação da tendência para diferentes valores de referência na faixa de interesse (PORTAL ACTION, 2016).

Estabilidade – A estabilidade é definida como o deslocamento lento e gradual, e consiste na variação total das medições tidas em um SM, aplicado sobre as peças quando se é medida uma única característica durante certo intervalo de tempo. Trata-se da variação da tendência ao longo do tempo.

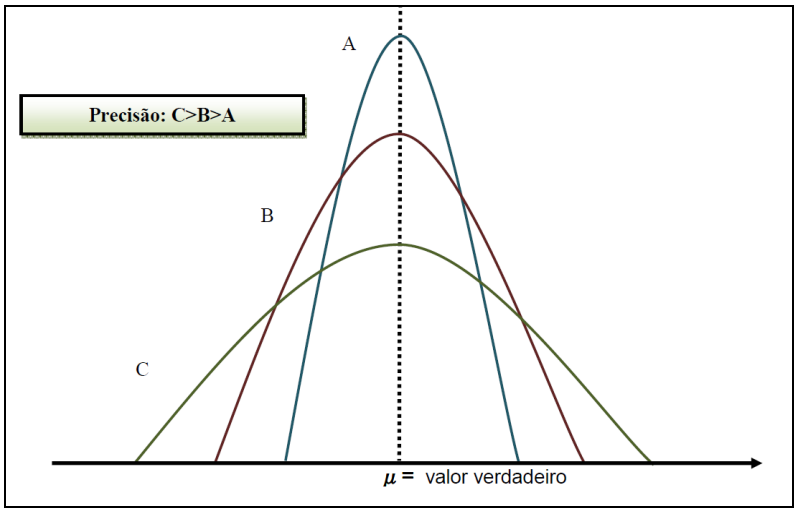
A análise gráfica permite determinar se um processo é estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação atuando sobre o mesmo. Para considerar um processo estatisticamente estável, os pontos nos gráficos de controle devem estar distribuídos aleatoriamente em torno da linha média sem que haja padrões estranhos, como tendências crescentes / decrescentes, ciclos repetidos e pontos fora dos limites de controle (AIAG, 2010).

As principais causas da falta de estabilidade são: obsolescência de instrumentos de medição; manutenção precária; método incorreto; deformação ou distorção da peça; deslocamento dos padrões ambientais; entre outras causas similares às de tendência.

2.4.2. Variação de dispersão

Precisão – A precisão descreve o efeito líquido da discriminação, da sensibilidade e da repetitividade ao longo do intervalo de operação de um sistema de medição. No MSA está diretamente relacionada ao NDC (número de categorias distintas) (AIAG, 2010).

Figura 06 – Precisão

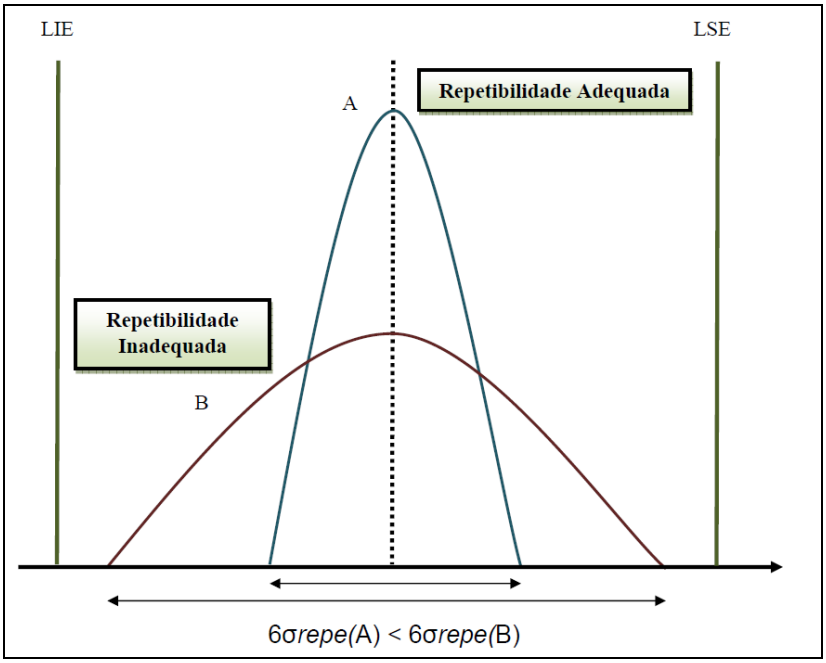


Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Repetitividade – É a variação inerente ao equipamento, referente a variação de causa comum (erro aleatório) decorrente de seguidas medições feitas em condições definidas. Suas condições de medição são fixas e definidas (peça, instrumento, padrão, método, operador, ambiente, entre outros). Por isso, a repetitividade é também conhecida como a variação dentro do sistema (TSU-MING YEH; JIA-JENG SUN, 2013).

As principais causas de uma repetitividade inadequada são variações: da amostra, do equipamento de medição, do padrão, do método, do avaliador, do ambiente e falhas na aplicação (AIAG, 2010).

Figura 07 – Repetitividade



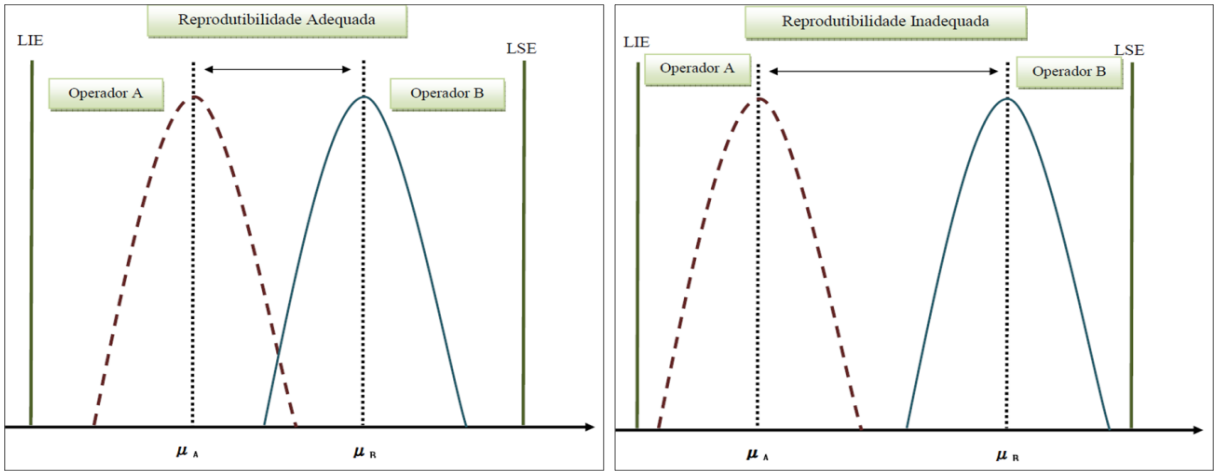
Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

Reprodutibilidade – É definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes operadores, utilizando o mesmo instrumento, o medindo uma mesma característica, sob as mesmas condições ambientais. Contudo, não é aplicável a sistemas automatizados. Por isso, a reprodutibilidade é conhecida como a variação das médias entre sistemas ou entre condições de medição (TSU-MING YEH; JIA-JENG SUN, 2013).

Porém ela não inclui apenas os diferentes operadores, mas também os diferentes instrumentos de medição, laboratórios e ambientes.

As principais causas de erros de reprodutibilidade são similares as de repetitividade, além de ausência de treinamentos e projeto inadequado do instrumento permitindo análises subjetivas.

Figura 08 – Reprodutibilidade



Fonte: Adaptado de Werkema (2006)

2.5. Estudo de repetitividade e reprodutibilidade

O estudo da Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) é uma ferramenta utilizada na análise da capacidade e estabilidade de SM. Nele, o instrumento de medição e os avaliadores são utilizados para medir diversas vezes amostras de peças, com o intuito de analisar a variação nos resultados de medição, quando são alterados ou mantidos recursos e/ou fatores do SM (AIAG, 2010).

A repetitividade avalia a variabilidade acerca do instrumento de medição e indica a capacidade que o mesmo possui em fornecer resultados idênticos em medições repetidas e sob mesmas condições.

A reprodutibilidade quantifica a capacidade de se obter os mesmos resultados quando ocorrerem mudanças nas condições de medição, como alterações entre avaliadores, condições ambientais, procedimentos, turno de trabalho, etc.

O objetivo principal do estudo de R&R é avaliar se a variabilidade devida a um SM é considerada suficientemente menor que a variabilidade do processo ou do produto que está sendo verificado.

2.6. Critérios de aceitação

No caso de erros (variação) de localização, os erros de tendência e linearidade não são aceitáveis se forem significativamente diferentes de zero, ou caso excedam o erro máximo

estabelecido pelo procedimento de calibração do instrumento de medição. No caso da estabilidade, analisando graficamente, não são aceitáveis padrões estranhos, como tendências crescentes ou decrescentes, ciclos repetidos e pontos fora dos limites de controle. Em relação aos erros de dispersão, há uma regra geral de aceitação, que é apresentada no Manual de MSA (AIAG, 2010):

Figura 09 – Critério de aceitação do R&R

Abaixo de 10%	Pode ser considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controle apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Pode 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: Menezes (2013)

O último passo para conclusão da aceitabilidade e validação do SM é a determinação do número de categorias distintas (NDC) que o SM pode ser dividido. O NDC reflete a capacidade do SM de discriminar categorias, dentro da variação do processo (PEDOTT; FOGLIATTO, 2013). O manual de MSA, também define uma regra para o NDC (ALBERTIN; JUNIOR, 2011). A regra é a seguinte:

- **NDC < 2:** o sistema de medição não serve para controlar o processo;
- **NDC ≥2 e ≤ 5:** o sistema de medição poderá ser usado para avaliação da conformidade do produto, mas não para análise da capacidade do processo;
- **NDC > 5:** o sistema de medição poderá ser usado tanto para avaliação da conformidade quanto para análise da capacidade do processo.

3. Metodologia

Esta pesquisa foi realizada em uma empresa metalúrgica de médio porte, situada na cidade de Guarulhos – SP, voltada ao segmento de trefilação de tubos de aço de precisão. A empresa fornece tubos de precisão para diversas indústrias, como: montadoras de veículos, máquinas e equipamentos, implementos rodoviários, indústrias moveleiras, entre outras.

A principal característica do processo de trefilação é a obtenção de elevada precisão dimensional nas peças tubulares, diferenciando-as dos tubos convencionais. Uma das formas de garantir a precisão do processo é a escolha de um adequado Sistema de Medição.

Neste trabalho é apresentada uma análise comparativa entre dois sistemas de medição, comparando em especial, dois instrumentos de medição similares, porém com resoluções diferentes, com intuito de definir o melhor sistema de medição para uma peça produzida pela empresa, que requer elevada precisão dimensional devido à aplicabilidade desta peça como importante componente utilizado na montagem de sistemas de frenagem de automóveis.

Nesta pesquisa foram analisados dois instrumentos de medição similares, porém com resoluções diferentes, um micrômetro externo com resolução 0,01mm (um centésimo de milímetro ou 10^{-5}m) e um micrômetro externo com resolução 0,001mm (um milésimo de milímetro ou 10^{-6}m).

Os valores e resultados foram obtidos com o auxílio do *Software Action* 2015® para a realização dos cálculos. Os cálculos matemáticos estatísticos são relativamente simples, porém são numerosos, carecendo de diversas repetições. O *Software Action* 2015® foi escolhido devido à boa resposta que dá em calcular as equações em um pequeno espaço de tempo, e a sua facilidade de manuseio. Com o *Software Action* 2015® podem-se obter respostas que atendam os métodos numéricos e de análises gráficas.

Os seguintes estudos foram realizados:

- Tendência (T);
- Linearidade (L);
- Estabilidade (E);
- Repetitividade (Re);
- Reprodutibilidade (Ro);
- Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R).

4. Resultados e discussão

Conforme exposto alhures, há uma peça (tubo trefilado de aço carbono) produzida pela empresa, que requer elevada precisão dimensional. Esta peça é um importante componente utilizado na montagem de sistemas de frenagem de veículos automotores, e por isso, é considerado como peça com características de segurança. Na montagem do sistema de frenagem, as folgas e ajustes são mínimos, e com isso, há a necessidade dessa peça ser o mais próximo de sua medida nominal possível (perfil redondo com diâmetro externo de 20,000mm).

Para realizar a medição da característica "diâmetro externo de 20,000mm" o instrumento selecionado foi o micrômetro externo de capacidade de 0-25mm (figura 10). O objetivo do estudo é determinar se o sistema de medição será adequado com o equipamento com resolução de 0,01mm (um centésimo de milímetro ou 10^{-5}m), ou se será necessário empregar o equipamento com resolução de 0,001mm (um milésimo de milímetro ou 10^{-6}m).

Figura 10 – Micrômetro Externo Capacidade 0-25mm

Fonte: Mitutoyo (2016)

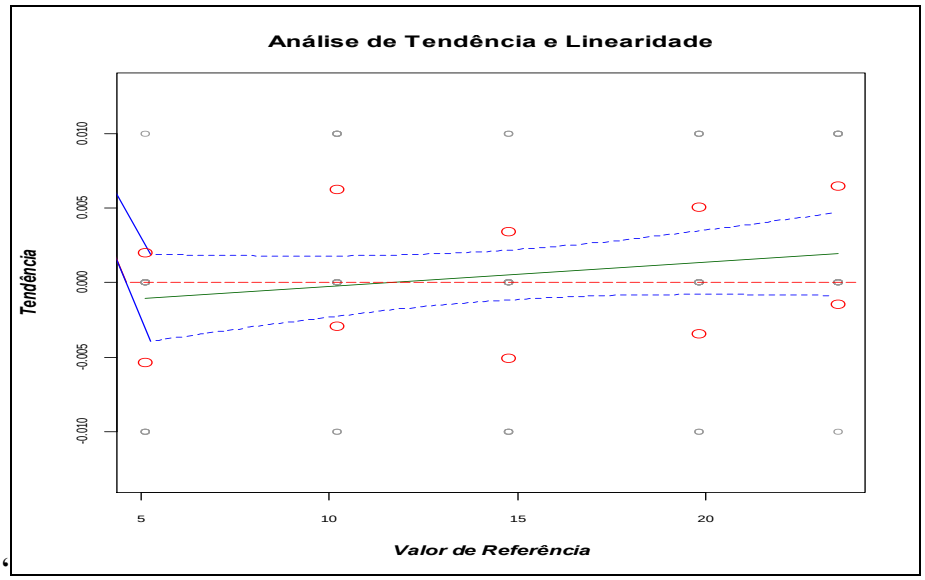
4.1. Estudos de tendência e linearidade

Na condução do estudo de tendência e linearidade foram selecionadas cinco peças cujas medidas estão distribuídas na faixa de 5mm a 25mm e determinou-se seus valores de referência com um equipamento de melhor resolução. Na sequência, o Avaliador mediu cada peça 12 vezes. Os dados coletados estão registrados no Anexo A.

A avaliação da tendência e da linearidade se dá a partir da construção de um gráfico entre os dados dos valores de referência e os valores medidos. Por meio de análise gráfica, um sistema de medição é considerado bom para a linearidade quando a linha de tendência zero estiver completamente contida dentro do intervalo de confiança construído (AIAG, 2010). Na figura

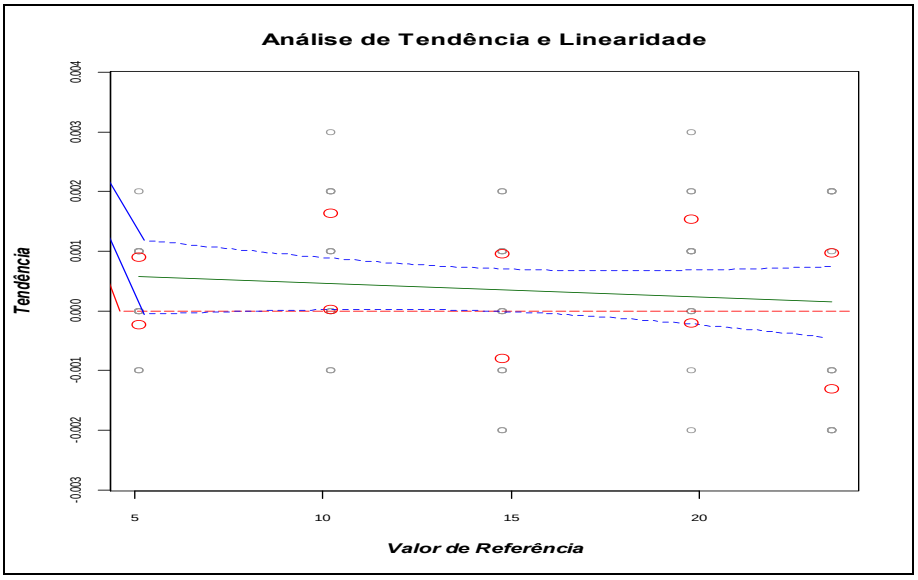
11 observa-se o gráfico do equipamento de resolução 0,01mm (centesimal), enquanto que o gráfico do equipamento de resolução 0,001mm (milesimal) é mostrado na figura 12.

Figura 11 – Tendência e Linearidade 0,01mm (centesimal)



Fonte: Autores (2017)

Figura 12 – Tendência e Linearidade 0,001mm (milesimal)



Fonte: Autores (2017)

Conforme figuras 11 e 12, **ambos os equipamentos são definidos aptos ao sistema de medição**, visto que suas tendências são iguais à zero ao longo da faixa de medição.

Tabela 01 – Resultados dos estudos de tendência e linearidade

micrômetro externo **0,01mm (centesimal)**					
Valor de Referência	**Média**	**Tendência**	**Limite Inferior**	**Limite Superior**	**Desvio padrão**
5,10	5,0983	-0,0017	-0,0053	0,0020	0,0058
10,20	10,2017	0,0017	-0,0029	0,0062	0,0072
14,75	14,7492	-0,0008	-0,0051	0,0034	0,0067
19,80	19,8008	0,0008	-0,0034	0,0051	0,0067
23,50	23,5025	0,0025	-0,0014	0,0064	0,0062
micrômetro externo **0,001mm (milesimal)**					
Valor de Referência	**Média**	**Tendência**	**Limite Inferior**	**Limite Superior**	**Desvio padrão**
5,102	5,10233	0,00033	-0,00023	0,00090	0,00089
10,199	10,19983	0,00083	0,00003	0,00164	0,00127
14,754	14,75408	0,00008	-0,00079	0,00096	0,00138
19,798	19,79867	0,00067	-0,00020	0,00154	0,00137
23,500	23,49983	-0,00017	-0,00131	0,00098	0,00180

Fonte: Autores (2017)

Já na tabela 01 observa-se o quão é mais preciso o instrumento de resolução milesimal, visto que suas tendências, limites inferiores e superiores, e os desvios padrões são muito menores do que os obtidos no equipamento de resolução centesimal.

4.2. Estudos de estabilidade

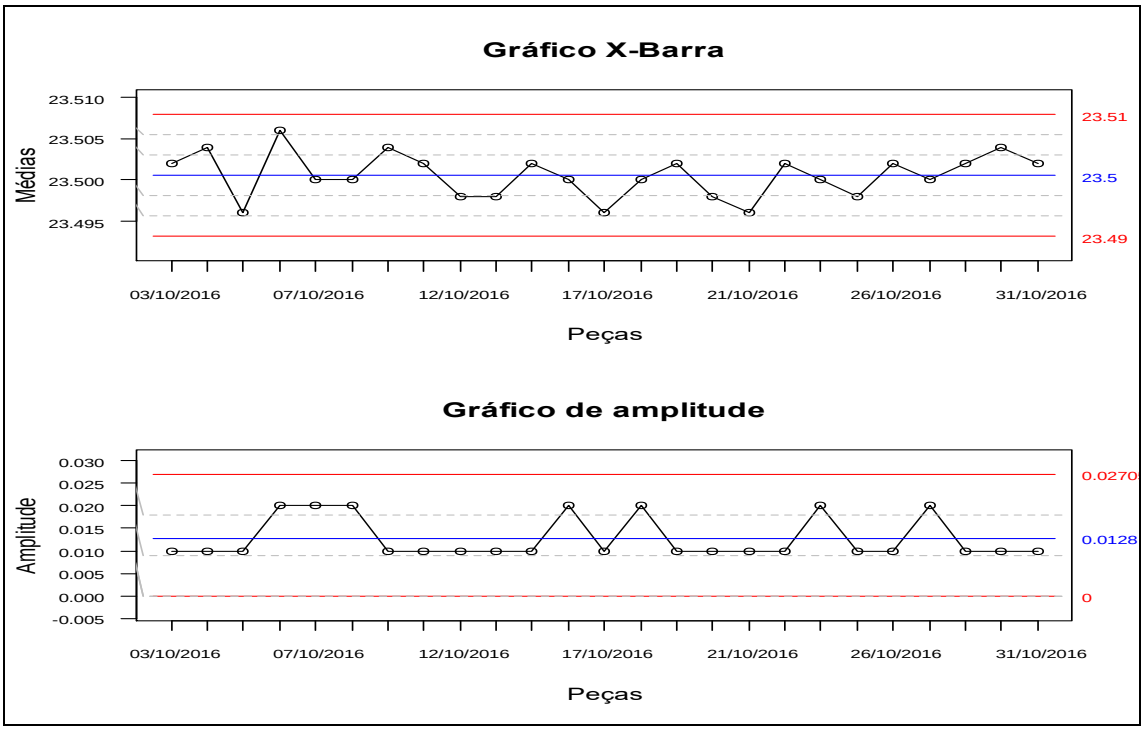
Para o estudo de estabilidade deve-se escolher uma peça padrão, determinar seu valor de referência e medi-la ao longo do tempo com o equipamento de medição do estudo. Devem-se registrar os dados coletados em um formulário com informações de data, horário, operador e equipamento de medição. Os dados coletados estão registrados no Anexo A. A coleta dos dados para o estudo de estabilidade ocorreu diariamente, de segunda-feira a sábado, em horários alternados (10h; 14h; 17h), durante o mês de outubro de 2.016, foram feitas cinco medidas por dia, e 25 repetições.

Um sistema de medição é considerado com boa estabilidade quando não apresenta causas especiais (AIAG, 2010). Para este estudo foram consideradas causas especiais: 1 ponto a mais de 3 Sigma da linha central; 7 pontos em sequência do mesmo lado da linha central; 6 pontos

em sequência, todos crescentes ou decrescentes; 14 pontos em sequência, alternando-se acima e abaixo; 2 de 3 pontos consecutivos maiores que 2 desvios padrão a partir da linha central; 4 de 5 pontos consecutivos maiores que 1 desvio padrão a partir da linha central; 15 pontos consecutivos dentro de 1 desvio padrão a partir da linha central; 8 pontos consecutivos maiores de 1 desvio padrão a partir da linha central.

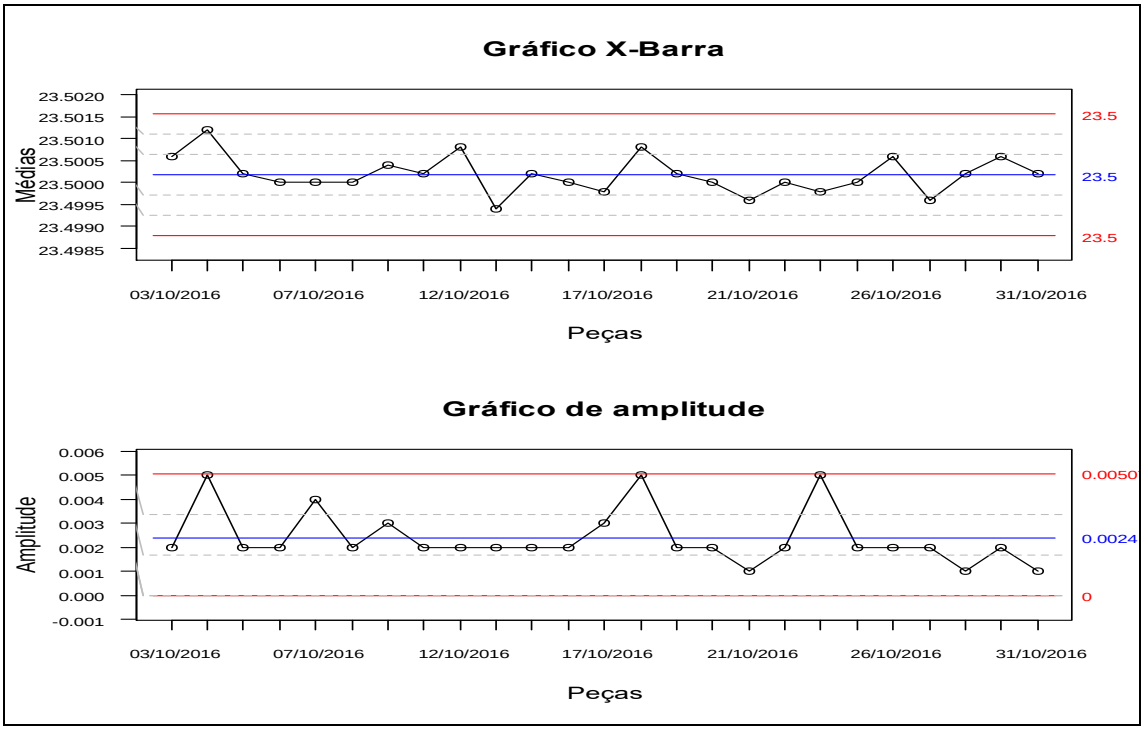
Na figura 13 observa-se o gráfico do equipamento de resolução 0,01mm (centesimal), enquanto que o gráfico do equipamento de resolução 0,001mm (milesimal) é mostrado na figura 14.

Figura 13 – Estabilidade 0,01mm (centesimal)



Fonte: Autores (2017)

Figura 14 – Estabilidade 0,001mm (milesimal)



Fonte: Autores (2017)

Conforme figuras 13 e 14, **ambos os equipamentos são definidos aptos ao sistema de medição**, visto que não há pontos fora dos limites de controle em nenhuma das cartas, bem como não foi identificada nenhuma das causas especiais citadas acima.

4.3. Estudos de R&R

Repetitividade e reprodutibilidade (R&R) é a somatória das variações obtidas com cada estimativa. As possíveis causas são a variação entre peças, equipamentos, padrões, métodos, Avaliadores e ambiente.

Quando a repetitividade for maior que a reprodutibilidade, as causas podem ser a falta de manutenção no equipamento de medição ou muita variação na própria peça. Caso a reprodutibilidade seja maior que a repetitividade, as causas podem ser a ausência de treinamento adequado para o Avaliador, e sistema de medições subjetivas.

Conforme AIAG (2010), nos estudos de R&R deve-se ter $n \times k \geq 15$, onde n é o número de peças e k o número de operadores. Sendo assim, esse estudo foi realizado com três Avaliadores (Operadores: A; B; C) e com dez peças, o que representa $n \times k = 30$.

Outro importante ponto na coleta de dados para o estudo do R&R é identificar as peças de modo que os Avaliadores não consigam diferenciar entre elas. Esse cuidado evita a tendência natural das pessoas que obter o mesmo resultado que já observaram na medição anterior da peça. Além disso, outro cuidado nesse tipo de estudo é a aleatoriedade da coleta de dados, evitando assim, confundir os efeitos principais do experimento. Por fim, definiu-se que cada peça seria medida três vezes pelo mesmo operador com o mesmo instrumento de medição. Os dados coletados estão registrados no Anexo A.

Os resultados obtidos no cálculo do R&R são comparados com os critérios definidos por AIAG (2010) onde: se %R&R for menor que 10%, o sistema de medição é aceitável; se %R&R estiver entre 10% e 30%, o sistema de medição pode ser aceito desde que tenha o aval do cliente; e se %R&R for maior que 30%, o sistema de medição não pode ser aceito, pois sua variabilidade excessiva compromete a qualidade do processo, podendo inclusive aprovar peças não conformes e reprovar peças conformes.

Para conclusão da aceitabilidade do sistema de medição, o valor de NDC deve ser maior ou igual a 5 para o sistema de medição ser aceitável.

Tabela 02 – Resultados dos estudos de R&R (0,01mm centesimal)

micrômetro externo **0,01mm (centesimal)**		
TABELA DE CONTRIBUIÇÃO		
	Variâncias	***Contribuição (%)***
Repetitividade	2,0000E-05	18,395
Reprodutibilidade	7,4074E-06	6,813
Peças	8,1317E-05	74,792
Repetitividade e reprodutibilidade	2,7407E-05	25,208
Total	1,0872E-04	100,000
NDC	2	

Fonte: Autores (2017)

Tabela 03 – Resultados dos estudos de R&R (0,001mm milesimal)

micrômetro externo **0,001mm (milesimal)**		
TABELA DE CONTRIBUIÇÃO		
	Variâncias	***Contribuição (%)***
Repetitividade	1,2556E-06	1,620
Reprodutibilidade	6,6255E-07	0,855
Peças	7,5594E-05	97,525
Repetitividade e reprodutibilidade	1,9181E-06	2,475
Total	7,7512E-05	100,000
NDC	8	

Fonte: Autores (2017)

Analisando os valores fornecidos pelas tabelas 02 e 03, considerando os equipamentos de resolução centesimal e milesimal respectivamente, observa-se que a repetitividade (18,4% e 1,6%) tem maior variação que a reprodutibilidade (6,8% e 0,9%). Isso indica que as causas das variabilidades estão relacionadas ao dispositivo de medição, como falta de calibração, manutenção e limpeza.

Outro fato importante é a variação das peças (74,8% e 97,5%) que, como já explicado, é bom para o SM que esse valor seja elevado, pois informa que o processo de fabricação tem maior variação do que o SM.

Na tabela 02, nota-se o R&R com valor de 25,2% para o micrômetro externo com resolução 0,01mm (centesimal), deixando-o na faixa de possível aceitação, desde que tenha o aval do cliente, o que nesse caso, por se tratar se uma peça de segurança e crítica, em hipótese alguma o cliente aceitaria um sistema de medição nessas condições. Sendo assim, conforme R&R, o instrumento com resolução centesimal não é adequado para esse sistema de medição.

Outro fato que corrobora com essa análise reprovando o micrômetro centesimal, é o número obtido para o NDC de apenas 2, conforme o manual de MSA, deveria ser acima de 5, para ser considerado como aceitável.

Ao analisar a tabela 3, referente ao instrumento de medição de resolução milesimal, verifica-se que o percentual do R&R é bem menor, com 2,5%, deixando-o na faixa de aceitação do sistema de medição.

O número de categorias distintas (NDC) para o instrumento milesimal é maior do que o encontrado no modelo centesimal, com o valor de 8, atendendo o indicado pelo MSA (deve ser acima de 5), indicando que o sistema de medição tem com esse equipamento maior poder de diferenciar classes de peças da mesma categoria.

Com isso, conclui-se que para esse sistema de medição, que visa medir uma peça de tubo de aço trefilado de precisão, com o diâmetro externo nominal de 20,000mm, com atendimento às exigências e complexidades do produto e do processo, o instrumento micrômetro externo com resolução 0,01mm (centesimal) é **inadequado**, enquanto que o micrômetro externo com resolução 0,001mm (milesimal) é considerado como **adequado** para esse sistema de medição.

5. Conclusões

Através da análise dos dados e resultados discutidos neste trabalho, é possível verificar que os objetivos do estudo foram atingidos com êxito, em especial na determinação de qual é o melhor sistema de medição, ou o mais adequado, para realizar o controle da peça crítica estudada, que conforme exposto nos resultados, demonstrou ser o instrumento micrômetro externo com resolução 0,001mm (milesimal) o equipamento adequado para esse sistema de medição, enquanto que o outro (centesimal) não é indicado.

Com a realização do trabalho, foi possível identificar que ainda que os instrumentos com resoluções centesimais apresentem bons resultados nos estudos de tendência e linearidade, bem como nos estudos de estabilidade, não significa que estes estão aptos a serem considerados para a medição e controle de peças mais críticas, com tolerâncias restritas, como a do caso em tela.

O trabalho proporcionou uma maior conscientização por parte de todos os envolvidos, que participaram ativamente dos estudos e puderam visualizar melhorias em suas tarefas.

A continuidade desse trabalho é necessária, efetuando novos estudos periódicos, acompanhando e comparando os resultados, visando a redução dos critérios de aceitação, como forma de busca permanente pela melhoria contínua do processo.

A Análise do Sistema de Medição é uma importante ferramenta de qualidade, que se empregada com seriedade, representa grandes saltos em termos de custos, produtividade e qualidade de produtos e processos.

Referências

KLAPUT, P.; VYKYDAL, D.; TOŠENOVSKÝ, F; HALFAROVÁ, P; PLURA, J. Problems of application of Measurement System Analysis (MSA) in metallurgical production. **Metalurgija**. v. 3, p. 535-537. 2016.

SHU-GUANG HE; G. ALAN WANG, DEBORAH F. COOK. Multivariate measurement system analysis in multisite testing: An online technique using principal component analysis. **Expert Systems with Applications**. V. 38, p. 14602-14608. 2011.

PERUCHI, R.S.; PAIVA, A.P.; BALESTRASSI, P.P.; FERREIRA, J. R.; SAWHNEY, R. Weighted approach for multivariate analysis of variance in measurement system analysis**. Precision Engineering**. V. 38, p. 651-658. 2014.

AÇOTUBO. **Catálogo institucional – Divisão trefilados e peças**. São Paulo, 2016.

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). **Análise do Sistema de Medição – MSA**. Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. 4ª ed. São Paulo, 2010.

ROTONDARO, Roberto G. (Coord.) *et al*. **Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços.** São Paulo: Atlas, 2002.

MENEZES, Felipe Morais. **MSA – Análise do Sistema de Medição**. ABDI. Porto Alegre, 2013.

PORTAL ACTION. **Ambiente de aprendizado. Análise dos Sistemas de Medição.** Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/11-sistema-de-medicao>, acesso: 27-nov-2016.

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

TSU-MING YEH; JIA-JENG SUN. Using the Monte Carlo Simulation Methods in Gauge Repeatability and Reproducibility of Measurement System Analysis. **Journal of Applied Research and Technology.** V. 11, p. 780-796. 2013

PEDOTT, A. H.; FOGLIATTO, F.S. Estudos de repetitividade e reprodutividade para dados funcionais. **Produção**, v. 23, n. 3, p. 548-560, jul./set. 2013

ALBERTIN, M. R.; JUNIOR, L. S. Uma proposta para garantia da qualidade metrológica em peças de geometria complexa. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Ano 6, nº 3, p. 147-168, Jul/Set. 2011.

MITUTOYO. **Catálogo de instrumentos e equipamentos de medição**. São Paulo, 2016.

ANEXO A – Coleta de dados para os estudos (Tendência e Linearidade, Estabilidade e R&R).

Equipamento		micrômetro externo **0,01mm (centesimal)**					Equipamento		micrômetro externo **0,001mm (milesimal)**				
Peças		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	Peças		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Valor Referência		5,10	10,20	14,75	19,80	23,50	Valor Referência		5,102	10,199	14,754	19,798	23,500
Medições	1	5,10	10,21	14,74	19,80	23,51	Medições	1	5,103	10,200	14,753	19,799	23,502
	2	5,09	10,20	14,75	19,80	23,50		2	5,102	10,201	14,752	19,798	23,503
	3	5,10	10,20	14,75	19,81	23,51		3	5,103	10,202	14,753	19,799	23,502
	4	5,11	10,21	14,75	19,81	23,50		4	5,102	10,199	14,755	19,800	23,498
	5	5,10	10,21	14,76	19,81	23,51		5	5,102	10,200	14,754	19,802	23,499
	6	5,10	10,20	14,76	19,80	23,50		6	5,103	10,199	14,756	19,799	23,498
	7	5,10	10,19	14,75	19,80	23,51		7	5,104	10,198	14,756	19,798	23,499
	8	5,09	10,19	14,74	19,79	23,50		8	5,102	10,201	14,754	19,798	23,501
	9	5,09	10,20	14,74	19,80	23,50		9	5,103	10,198	14,754	19,799	23,502
	10	5,10	10,20	14,75	19,79	23,50		10	5,101	10,199	14,755	19,800	23,502
	11	5,10	10,21	14,75	19,80	23,49		11	5,101	10,201	14,756	19,801	23,499
	12	5,10	10,20	14,75	19,80	23,50		12	5,102	10,200	14,755	19,800	23,498

micrômetro externo **0,01mm (centesimal)**									micrômetro externo **0,001mm (milesimal)**								
Data		**Horário**	**Medidas**						**Data**		**Horário**	**Medidas**					
			1	**2**	**3**	**4**	**5**					**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
03/10/2016	2ªf	10:00	23,50	23,50	23,50	23,51	23,50		03/10/2016	2ªf	14:00	23,500	23,502	23,500	23,501	23,500
04/10/2016	3ªf	14:00	23,50	23,51	23,50	23,51	23,50		04/10/2016	3ªf	17:00	23,500	23,501	23,500	23,505	23,500
05/10/2016	4ªf	17:00	23,49	23,50	23,50	23,50	23,49		05/10/2016	4ªf	10:00	23,499	23,501	23,500	23,501	23,500
06/10/2016	5ªf	10:00	23,51	23,50	23,50	23,52	23,50		06/10/2016	5ªf	14:00	23,499	23,500	23,500	23,501	23,500
07/10/2016	6ªf	14:00	23,49	23,50	23,50	23,50	23,51		07/10/2016	6ªf	17:00	23,498	23,500	23,500	23,502	23,500
08/10/2016	sáb	17:00	23,49	23,51	23,50	23,50	23,50		08/10/2016	sáb	10:00	23,499	23,501	23,500	23,500	23,500
10/10/2016	2ªf	10:00	23,50	23,51	23,50	23,51	23,50		10/10/2016	2ªf	14:00	23,499	23,502	23,500	23,501	23,500
11/10/2016	3ªf	14:00	23,50	23,50	23,50	23,50	23,51		11/10/2016	3ªf	17:00	23,499	23,500	23,501	23,501	23,500
12/10/2016	4ªf	17:00	23,49	23,50	23,50	23,50	23,50		12/10/2016	4ªf	10:00	23,500	23,502	23,500	23,502	23,500
13/10/2016	5ªf	10:00	23,50	23,49	23,50	23,50	23,50		13/10/2016	5ªf	14:00	23,500	23,498	23,499	23,500	23,500
14/10/2016	6ªf	14:00	23,50	23,51	23,50	23,50	23,50		14/10/2016	6ªf	17:00	23,499	23,501	23,500	23,501	23,500
15/10/2016	sáb	17:00	23,50	23,49	23,50	23,51	23,50		15/10/2016	sáb	10:00	23,499	23,500	23,500	23,501	23,500
17/10/2016	2ªf	10:00	23,49	23,49	23,50	23,50	23,50		17/10/2016	2ªf	14:00	23,500	23,498	23,500	23,501	23,500
18/10/2016	3ªf	14:00	23,50	23,51	23,49	23,50	23,50		18/10/2016	3ªf	17:00	23,500	23,501	23,499	23,504	23,500
19/10/2016	4ªf	17:00	23,50	23,50	23,50	23,51	23,50		19/10/2016	4ªf	10:00	23,499	23,501	23,500	23,501	23,500
20/10/2016	5ªf	10:00	23,49	23,50	23,50	23,50	23,50		20/10/2016	5ªf	14:00	23,499	23,500	23,500	23,501	23,500
21/10/2016	6ªf	14:00	23,50	23,49	23,50	23,50	23,49		21/10/2016	6ªf	17:00	23,500	23,499	23,500	23,500	23,499
22/10/2016	sáb	17:00	23,50	23,51	23,50	23,50	23,50		22/10/2016	sáb	10:00	23,500	23,500	23,500	23,501	23,499
24/10/2016	2ªf	10:00	23,49	23,50	23,50	23,51	23,50		24/10/2016	2ªf	14:00	23,499	23,503	23,498	23,501	23,498
25/10/2016	3ªf	14:00	23,49	23,50	23,50	23,50	23,50		25/10/2016	3ªf	17:00	23,499	23,500	23,500	23,501	23,500
26/10/2016	4ªf	17:00	23,50	23,50	23,50	23,51	23,50		26/10/2016	4ªf	10:00	23,500	23,502	23,500	23,501	23,500
27/10/2016	5ªf	10:00	23,49	23,50	23,50	23,51	23,50		27/10/2016	5ªf	14:00	23,498	23,500	23,500	23,500	23,500
28/10/2016	6ªf	14:00	23,50	23,51	23,50	23,50	23,50		28/10/2016	6ªf	17:00	23,500	23,501	23,500	23,500	23,500
29/10/2016	sáb	17:00	23,51	23,50	23,50	23,51	23,50		29/10/2016	sáb	10:00	23,502	23,500	23,500	23,501	23,500
31/10/2016	2ªf	10:00	23,50	23,50	23,50	23,51	23,50		31/10/2016	2ªf	14:00	23,500	23,500	23,500	23,501	23,500

micrômetro externo **0,01mm (centesimal)**											
repeticão		peças									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oper. A	1	20,00	19,99	20,01	20,00	20,00	19,99	20,00	20,01	20,01	19,99
	2	20,00	19,99	20,02	20,00	20,01	19,99	19,99	20,01	20,01	19,99
	3	20,01	19,98	20,01	20,00	20,00	20,00	20,00	20,02	20,00	19,99
Oper. B	1	20,00	19,99	20,02	20,00	20,00	19,99	20,00	20,02	20,02	20,00
	2	20,00	19,99	20,02	20,00	20,00	19,99	20,00	20,02	20,02	19,99
	3	20,00	20,00	20,02	20,01	20,00	19,99	20,00	20,02	20,01	19,99
Oper. C	1	20,00	19,99	20,00	20,00	20,00	19,99	20,00	20,02	20,02	19,99
	2	20,00	19,99	20,00	20,01	20,00	20,00	20,00	20,02	20,01	20,00
	3	20,00	19,99	20,01	20,00	20,00	19,99	20,00	20,01	20,01	19,99

micrômetro externo **0,001mm (milesimal)**											
repeticão		peças									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Oper. A	1	19,999	19,996	20,015	20,000	20,001	19,997	20,001	20,016	20,020	19,998
	2	20,000	19,998	20,017	20,001	20,004	19,996	20,002	20,019	20,019	19,997
	3	19,999	19,999	20,015	20,002	20,002	19,999	20,000	20,017	20,018	19,999
Oper. B	1	20,002	19,995	20,016	20,003	20,000	20,001	20,000	20,018	20,021	20,000
	2	20,003	19,997	20,017	20,002	20,000	20,002	20,002	20,017	20,018	19,999
	3	20,002	19,995	20,015	20,000	20,001	20,000	20,001	20,020	20,019	19,997
Oper. C	1	20,003	19,996	20,015	20,001	20,002	19,997	20,001	20,018	20,020	19,999
	2	20,003	19,997	20,016	20,003	20,002	19,998	20,000	20,019	20,020	19,998
	3	20,002	19,999	20,015	20,002	20,003	19,998	20,002	20,017	20,018	19,998