

Análise do Sistema de medição: Aplicação do método MSA em uma empresa do setor automobilístico

Roni Gomes Quaresma (Centro Universitário UNA) roni607@hotmail.com
Deibe Valgas dos Santos (Centro Universitário UNA) deivevalgas@yahoo.com.br
Michele Lisboa Silveira (UFMG) michelesilveira1991@gmail.com

Resumo:

A demanda por produtos de qualidade exige que as empresas utilizem ferramentas que garantam confiabilidade ao seu processo de manufatura. São utilizadas técnicas matemáticas e estatísticas a fim de garantir a uniformidade de dados gerados por um sistema. Uma das ferramentas que permite melhoria no controle de processos é a análise de sistemas de medição, ou MSA (Measurement System Analyser). O MSA é um conjunto de estudos estatísticos que visa certificar a adequação de um sistema de medição à dimensão ou característica a ser medida. Tem sido aplicado em indústrias automobilísticas, principalmente em fornecedoras de materiais para montagem. Foi feito um estudo de caso em uma empresa do ramo automobilístico, denominada empresa A. Este trabalho buscou verificar se o sistema de medição da empresa estudada operou de forma adequada. O sistema de medição estudado foi uma máquina tridimensional global, e as técnicas estatísticas estudadas foram análise de estabilidade, tendência, linearidade, reprodutibilidade e repetitividade. A partir dos resultados gerados foi possível observar que o sistema de medição estudado apresentou confiabilidade e eficiência para realização das medições.

Palavras chave: Análise de sistemas de medição, manufatura, máquina tridimensional global.

Analysis of the measurement system: Application of the MSA method in an automobile company

Abstract

Demand for quality products requires companies to use tools that ensure reliability in their manufacturing process. Mathematical and statistical techniques are used in order to guarantee the uniformity of data generated by a system. One of the tools that allows improvement in process control is the analysis of measurement systems, or MSA (Measurement System Analyzer). The MSA is a set of statistical studies that aims to certify the adequacy of a measurement system to the size or characteristic to be measured. It has been applied in automobile industries, mainly in suppliers of materials for assembly. A case study was carried out in a company in the automobile industry, denominated company A. This work sought to verify if the measurement system of the studied company operated properly. The measurement system studied was a global three-dimensional machine, and the statistical techniques studied were stability, trend, linearity, reproducibility and repeatability analysis. From the results generated, it was possible to observe that the measurement system studied showed reliability and efficiency to perform the measurements.

Key-words: Analysis of measurement systems, manufacturing, global three-dimensional machine

1. Introdução

Devido a impossibilidade em atingir a perfeição metrológica dos processos de medição, são necessários métodos de análise e critérios de aceitação para assegurar que os dados obtidos nas medições estejam dentro de uma tolerância de aceitação.

O MSA é uma ferramenta utilizada para garantir a qualidade dos dados produzidos por medições. Atualmente é bastante utilizado nas indústrias automobilísticas, mais especificamente nas empresas que fornecem seus produtos para as grandes montadoras, visto que se tornou um pré-requisito da ISO TS-16949/IATF. Com isso o MSA se torna obrigatório para as empresas que querem garantir a qualidade dos seus resultados e a principal certificação no mercado automobilístico (PEREIRA, 2009).

O presente trabalho tem por objetivo aplicar o estudo MSA em um sistema de medição composto por uma máquina de medição tridimensional Global Performance e avaliar se esse sistema é capaz de gerar dados de medição com confiabilidade.

2. Referencial teórico

Um sistema de medição (SM) é a coleção de dispositivos e instrumentos utilizados para realizar medições. Podem ser considerados componentes do SM os *softwares* interligados as máquinas tridimensionais, o pessoal responsável pelas medições, o ambiente de medição, e todos os demais componentes utilizados para quantificar a unidade de medição.

O MSA realiza estudos estatísticos com o intuito de verificar e analisar a variação presente em cada tipo de sistema. Os métodos analíticos e os critérios de aceitação usados devem estar de acordo com os manuais de referência do cliente sobre a análise dos sistemas de medição (PEDOT, 2012).

O Estudo de MSA pode ser caracterizado como MSA por atributo ou MSA por variáveis. O MSA por atributo realiza controles visuais para a aprovação ou não de determinada peça, já o estudo de MSA por variáveis, que é o foco deste trabalho, tem como característica realizar medições que serão utilizadas em estatísticas para relatarem se os dados do sistema de medição são de qualidade.

A Figura 1 retrata a Global Performance, máquina utilizada a fim de se realizar medidas e obter dados por meio de softwares de medição.



Figura 1- Máquina Global usada no Sistema de medição. Fonte: (HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE, 2018)

O processo de análise para a realização do estudo de MSA da máquina tridimensional Global Performance, divide-se em cinco etapas, denominadas como estudo de estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutibilidade.

Primeiramente avalia-se a estabilidade, que trata da variação total nas medições obtidas sobre a mesma esfera padrão, ou sobre peças quando se mede uma única característica no decorrer de um período de tempo prolongado (AIAG, 2010). Verifica-se a estabilidade dos dados através dos gráficos gerados e observa-se o comportamento das médias e amplitudes em relação aos limites de controle, caso os dados estejam dentro dos limites, considera-se um sistema de medição estável.

Em seguida avalia-se a tendência, que é a diferença entre o valor real (valor de referência) e a média das medições observadas para uma característica, medições estas, feitas sobre a mesma peça ou esfera padrão. Dessa forma, a tendência é a medida do erro sistemático do sistema de medição (AIAG, 2010).

Para que a tendência seja aceitável, é necessário que a condição imposta por meio da Equação 1 seja atendida.

$$Tendência - [\sigma_b \cdot t_{TAB}] \leq zero \leq Tendência + [\sigma_b \cdot t_{TAB}] \quad (1)$$

A linearidade é a diferença de tendência ao longo do intervalo de operação no equipamento. Para verificar a linearidade realizam-se testes de medições em diversas posições e coordenadas da máquina, posteriormente é verificado se os resultados se repetem em qualquer posição do volume total da máquina (AIAG, 2010).

Geralmente o estudo de linearidade é realizado quando se instala a máquina na planta da empresa e quando se realiza a calibração da máquina. Para a máquina Global Performance da indústria estudada, a calibração é realizada bianualmente por profissionais que possuem equipamentos adequados e específicos para se concretizar os testes. Após obter sucesso na realização dos testes emite-se um certificado aprovando o equipamento quanto a sua linearidade.

Caso haja aprovação nas etapas de estabilidade, tendência e linearidade, segue-se o estudo e avalia-se a Repetitividade, conceituada como a variação das medições obtidas com um instrumento de medição, Usado diversas vezes por um avaliador, ao medir a mesma característica na mesma peça. Tradicionalmente conhecida como a variabilidade de um único avaliador.

Utilizando o mesmo cálculo de Repetitividade, avalia-se também a Reprodutibilidade que é tipicamente definida como a variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores utilizando o mesmo instrumento de medição para medir uma mesma característica de uma determinada peça, tradicionalmente conhecida como a variabilidade entre avaliadores. Caso os resultados obtidos por meio das equações dos estudos de repetitividade e reprodutibilidade estejam dentro das condições de aceitação, considera-se o sistema de medição aprovado.

3. Metodologia e Materiais

Este estudo foi realizado no laboratório de metrologia de uma empresa denominada empresa A. Utilizou-se a máquina tridimensional Global Performance para a análise do sistema de medição. Essa máquina é utilizada para realizar medições de componentes e peças para carrocerias.

Para iniciar o estudo MSA utilizou-se uma esfera padrão com diâmetro de 24,9481 mm. As medições realizadas nesta esfera têm como objetivo verificar a estabilidade e a tendência dos

dados gerados pela máquina. Caso os dados apresentem estabilidade, permite-se a sequência do estudo neste sistema.

As equações de estabilidade, tendência, repetitividade e reprodutividade, foram baseadas no Portal Action, 2017.

3.1 Estabilidade

Primeiramente obteve-se uma esfera padrão para efeito de análise da estabilidade. A Figura 2 ilustra a Global Performance realizando a medição da esfera padrão.



Figura 2 - Medição da esfera padrão por apalpação (HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE, 2018).

Em uma base periódica (diária, semanal) mediu-se a amostra padrão de três a cinco vezes por um período determinado pelo mesmo analista. Feito isto, inseriu-se os dados numa carta de controle $\bar{X}$ & R (Média e Amplitude).

Para avaliar se o sistema apresentava condições fora de controle ou instabilidade, elaborou-se um gráfico cartas de controle. Utilizou-se a análise convencional de uma carta de controle $\bar{X}$ & R conforme mostra a Figura 3.

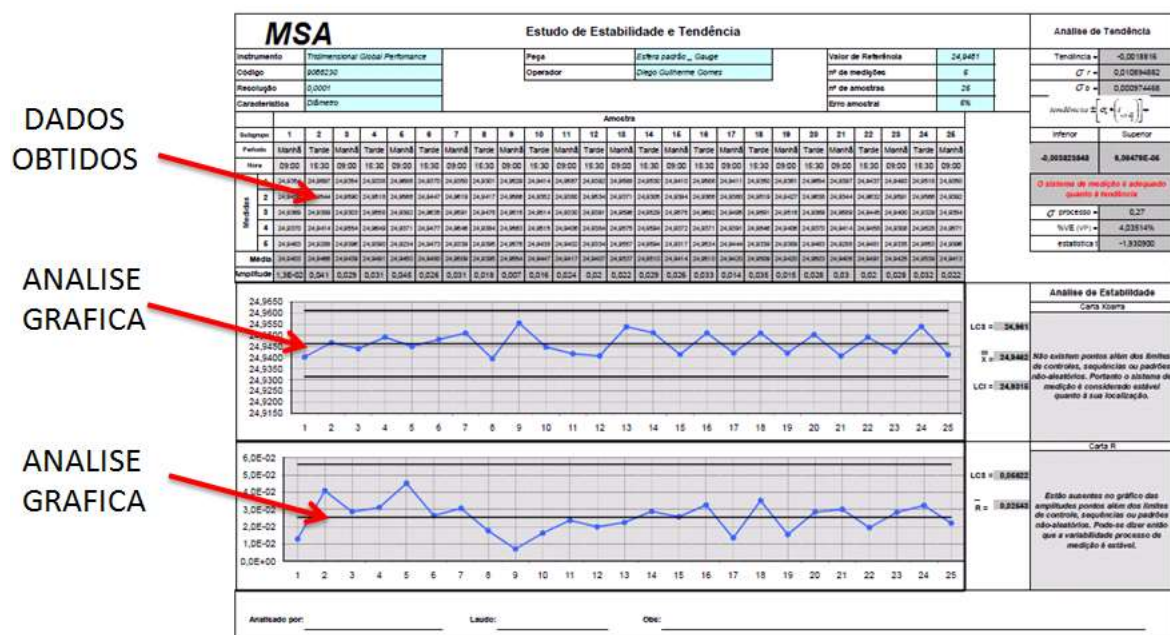


Figura 3 - Modelo de carta de controle (EXCEL, 2010).

Os dados coletados após a realização das medições foram preenchidos utilizando-se quatro casas decimais após a vírgula, pois a precisão do equipamento é medida em micron. Com esses dados gerou-se o Gráfico de estabilidade (1), a fim de avaliar se algum ponto ultrapassou o limite de controle.

Após o levantamento dos dados elaborou-se um gráfico que analisa a estabilidade dos dados. Existe neste gráfico uma linha indicando o limite de controle inferior (LCI) e outra linha indicando o limite de controle superior (LCS). Os resultados dos dados devem estar entre esses limites, provando que este sistema de medição é estável.

Elaborou-se também o gráfico da amplitude (maior valor subtraído pelo menor valor) dos desvios de cada período com base no valor padrão, cujos dados não devem ultrapassar o limite superior de controle.

Se uma carta $\bar{X}$ & R for usada para avaliar a estabilidade, seus dados também podem ser usados para avaliar a tendência. A análise da carta de controle deve indicar que o sistema de medição é estável antes da tendência ser avaliada.

3.2 Estudo de Tendência

Para calcular a tendência dos dados, seguiram-se as seguintes etapas:

- Foi obtido valor da média das médias ($\bar{\bar{X}}$) por meio das cartas de controle;
- Calculou-se a tendência, subtraindo o valor de referência por $\bar{\bar{X}}$.
- Calculou-se o desvio padrão da repetitividade utilizando a média da amplitude com a Equação 2.

$$\sigma_r = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2)$$

- Determinou-se se a repetitividade é aceitável pelo cálculo de variação do equipamento (%VE) através da Equação 3.
-

$$\%VE = 100 \cdot \left[\frac{\sigma_r}{VT} \right], \quad (3)$$

Onde (%VE) corresponde a variação do equipamento e (VT) a variação total que é baseada na variação esperada do processo.

- Determinou-se o valor da estatística t para a tendência, utilizando as equações 4, 5 e 6.

$$t = \frac{\text{tendencia}}{\sigma_b} \quad (4)$$

onde o desvio padrão dos dados (σ_b) é calculado através da Equação 5.

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

- A tendência é aceitável (estatisticamente zero) no nível α se o valor zero situar dentro dos limites do intervalo de confiança $1-\alpha$ em torno do valor da tendência por meio da Equação 6.

$$\text{Tendência} - [\sigma_b \cdot t_{TAB}] \leq \text{zero} \leq \text{Tendência} + [\sigma_b \cdot t_{TAB}] \quad (6)$$

3.3 Estudo de R&R – Repetitividade e Reprodutibilidade

Para realizar os estudos de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade) foi necessário a aprovação nas etapas anteriores (estabilidade, tendência e linearidade).

Conduzindo o estudo de R&R utilizou-se o método da média e amplitude, onde foram obtidas 15 amostras que representaram a amplitude real ou esperada da variação do processo. Em seguida selecionou-se três avaliadores que faziam parte do sistema de medição, identificando-os como 1, 2, e 3.

A figura 4 apresenta o modelo de carta de controle utilizada para o estudo de R&R e especifica cada uma de suas regiões de estudo que serão exploradas a frente.

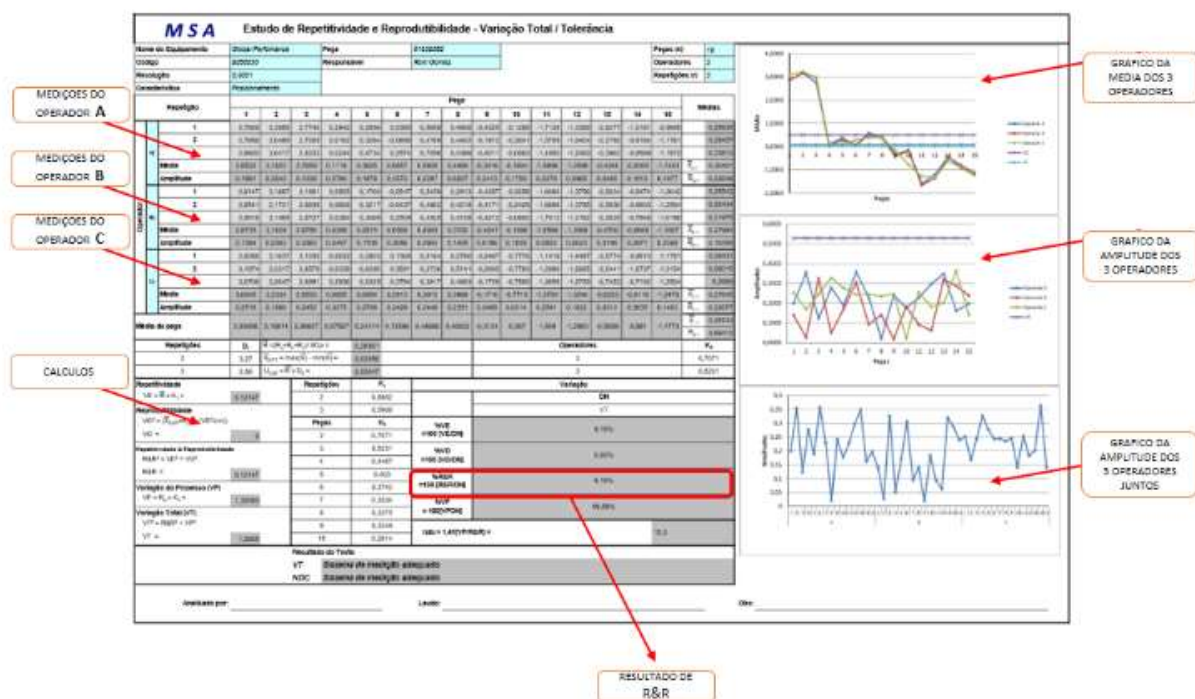


Figura 4 - Modelo de Carta de R&R (EXCEL, 2010).

Cada operador realizou a medição de um determinado elemento das 15 peças. Em seguida calculou-se a média e a amplitude obtida por cada um dos três avaliadores ao medir cada peça, na sequência, realizou-se os cálculos da média das amplitudes de cada avaliador e a média de todas as amplitudes.

Calculou-se ainda a média das médias de cada avaliador, a diferença entre as médias máxima e mínima dos avaliadores, a média das medições de cada peça e a amplitude da média por peça, que foram utilizados para a realização dos cálculos do estudo de R&R.

- **Repetitividade:** Calcula-se a repetitividade dos dados por meio da Equação 7.

$$VE = \bar{R} \cdot K_1 \quad (7)$$

Onde VE representa a variação do equipamento, $\bar{R}$ corresponde à média das médias das amplitudes de cada operador, e K_1 depende do número de repetições utilizadas no estudo e é

igual ao inverso de d^2 que por sua vez depende do número de repetições (m) e do número de peças multiplicado pelo número de avaliadores (g).

- **Reprodutibilidade:** Para o cálculo de reprodutibilidade, utilizou-se a Equação 8.

$$VO^2 = (X_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{VE^2}{nr}\right) \quad (8)$$

Onde VO representa a variação entre operadores, X_{DIFF} corresponde à diferença entre as médias máxima e mínima, K_2 corresponde ao inverso de d^2 , que por sua vez depende do número de avaliadores (m) e (g)=1, pois existe somente um cálculo da amplitude. O número de peças de amostra n é igual à 15 enquanto que r corresponde ao número de repetições ou ciclo de medições e equivale à 3.

- **Repetitividade & Reprodutibilidade:** A reprodutibilidade & repetitividade (R&R) foi calculada através da Equação 9:

$$R\&R^2 = VE^2 + VO^2 \quad (9)$$

- **Varição da peça (VP):** VP corresponde ao desvio padrão do processo (entre as peças) foi calculado por meio da Equação 10:

$$VP = R_p \cdot K_3 \quad (10)$$

onde R_p representa a média máxima total de cada peça subtraído pela média mínima de cada peça ($\bar{X} \max - \bar{X} \min$), conhecido como amplitude das médias de cada peça, e K_3 depende do número de peças utilizadas e no estudo e é igual ao inverso de obtido na tabela do anexo A, d^2 depende do numero de peças (m) e (g) que nesta situação $g=1$ pois há somente 1 cálculo de amplitude.

- **Varição Total (VT):** A variação total é calculada utilizando a Equação 11:

$$VT^2 = R\&R^2 + VP^2 \quad (11)$$

Após todas as análises anteriores, calculou-se o percentual de variação do equipamento (%VE), o percentual de variação entre os operadores (%VO) e o percentual de repetitividade e reprodutibilidade (%R&R) utilizando as Equações 12,13 e 14, onde o DN representa a variação total (VT).

$$\%VE = 100 \cdot \left[\frac{VE}{DN}\right] \quad (12)$$

$$\%VO = 100 \cdot \left[\frac{VO}{DN}\right] \quad (13)$$

$$\%R\&R = 100 \cdot \left[\frac{R\&R}{DN}\right] \quad (14)$$

Calculou-se ainda o percentual de variação da peça (%VP) com a Equação 15 e o número de categorias distintas (NDC) através da Equação 16, que indica o número de categorias dentro do qual as medições do processo podem ser divididas. O NDC deve ser maior ou igual a cinco e é aplicado somente para um sistema de medição cujo o propósito é analisar um processo.

$$\%VP = 100 \cdot \left[\frac{VP}{DN} \right] \quad (15)$$

$$NDC = 1,41 \left[\frac{VP}{R\&R} \right] \quad (16)$$

Os resultados destes cálculos devem atender aos critérios de aceitação para que o sistema de medição seja considerado adequado para a realização de medições com qualidade e seja capaz de gerar dados confiáveis.

Os critérios de aceitação para %VE, %VO, e %R&R seguem as seguintes regras:

- Menor que 10% - Sistema de medição considerado aceitável;
- Entre 10% e 30% - Sistema de medição pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, no custo do aparato de medição, no custo do reparo, etc. Deve também ser aprovado pelo cliente
- Acima de 30% - Sistema de medição considerado como não aceitável, todo o esforço deverá ser feito para melhorá-lo.

4. Resultados e Discussões

Neste tópico serão abordados os resultados e discussões referentes ao estudo deste trabalho.

4.1 Análise de estabilidade

Para iniciar o estudo MSA o primeiro passo foi verificar a estabilidade. Antes de realizar o estudo de qualquer propriedade estatística do sistema de medição, deve-se analisar a capacidade do sistema manter tais propriedades ao longo do tempo. O objetivo da estabilidade consiste em avaliar-se (PORTAL ACTION, 2017):

- A interação do sistema de medição e o meio ambiente;
- Desgaste de componentes;
- Ajuste de dispositivos e sensores.

Através do Gráfico 1(a), observou-se que as médias de todas as seções de medições situaram-se dentro dos limites de controle, provando a estabilidade dos dados gerados por este sistema. Além disso, as amplitudes de cada seção de medição apresentadas no gráfico 1(b) não ultrapassaram o limite superior de controle, sendo assim aprovou-se a global performance quanto a sua estabilidade.

O Gráfico 1 é referente a amplitude dos desvios baseando-se no valor da esfera padrão. Os dados foram obtidos após a realização das medições da esfera padrão distribuídos em 25 períodos, sendo 5 medições as 09:00 horas e 5 medições realizadas as 15:30 do mesmo dia, sucessivamente até que se completasse um total de 25 períodos com 125 medições.

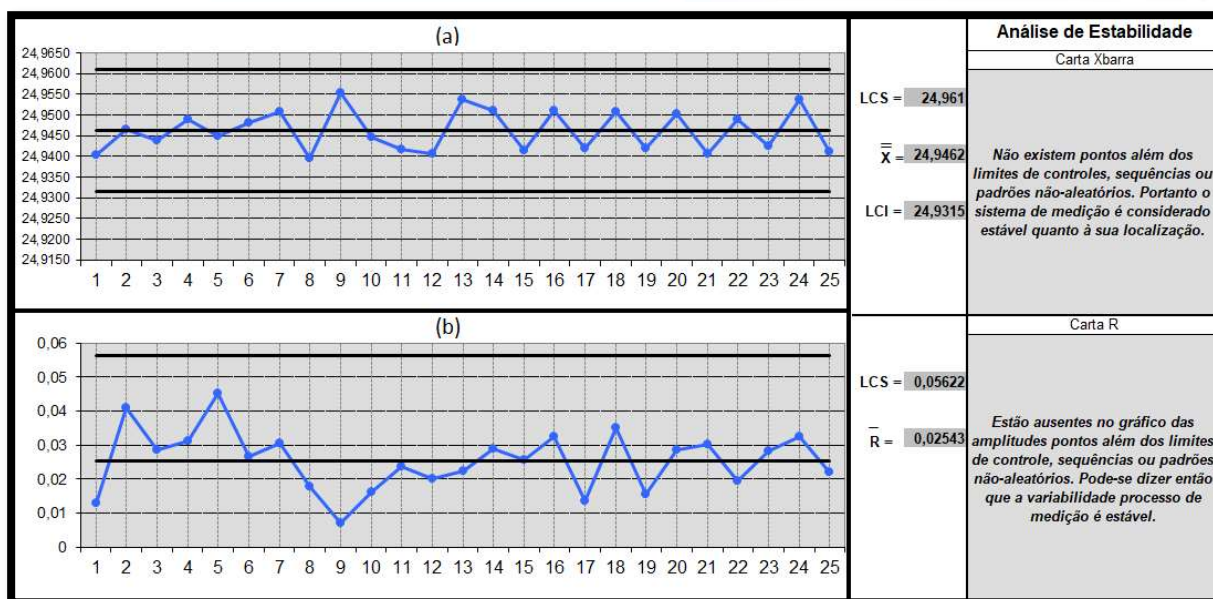


Gráfico 1- Estudo de estabilidade (EXCEL, 2010).

4.2 Análise de tendência

No estudo de tendência obteve-se por meio da carta de controle o valor da média das médias igual a $\bar{\bar{X}} = 24,9462$ mm, o valor de 0,0019 mm para a tendência, e desvio padrão da repetitividade de $\sigma_{\gamma} = 0,0119$ mm por meio da Equação 1.

Determinou-se a aceitação da repetitividade por meio do cálculo de variação do equipamento (%VE) através da Equação 3, encontrando um %VE = 4,0370.

A condição imposta por meio da Equação 6 apresentou o seguinte resultado: $-0,00391041 \leq zero \leq 0,00011041$, e, portanto, foi atendida, visto que o zero situou se entre os limites do intervalo de confiança, e desta forma aprovou-se o sistema de medição quanto a sua tendência.

4.3 Análise de linearidade

Os resultados de linearidade estão presentes no manual de calibração bienal da máquina, disponíveis na empresa A. Por meio deste relatório, aqui não apresentado por questões didáticas, foi possível observar que após realização da primeira calibração da máquina, os resultados de linearidade apresentados no certificado não se encontravam dentro dos limites de tolerância. Entretanto, observou-se que após ajustes feitos na máquina e realização de nova calibração, a média das medições de linearidade situaram-se dentro dos limites especificados, comprovando que a máquina apresentou boa linearidade para a sequência dos estudos.

4.4 Análise de repetitividade e reprodutibilidade

Seguindo a análise de repetitividade e reprodutibilidade, seguiram-se algumas etapas e os seguintes resultados foram obtidos:

- Calculou-se a repetitividade dos dados por meio da Equação 7 e encontrou-se um valor de VE = 0,0558837.

- Para o cálculo de reprodutibilidade, utilizou-se a Equação 8 que resultou em uma variação entre operadores equivalente à $VO = 0,037035999$.
- Calculou-se então o R&R, conhecido a variabilidade devido a repetitividade (equipamento) e a reprodutibilidade (operadores), utilizando a Equação 9, e encontrou-se um $R\&R = 0,067042172$.
- Em seguida calculou-se a variação da peça (VP), que corresponde ao desvio padrão do processo (entre as peças), para este cálculo utilizou-se a Equação 10 e encontrou-se $VP = 1,363681284$.
- Feito isso, calculou-se a variação total (VT) utilizando a Equação 11 que resultou em um $VT = 1,365328275$.
- Calculou-se o percentual de variação entre operadores (%VO) por meio da Equação 13 e encontrou-se um $\%VO = 2,712607633$.
- Calculou-se então o percentual de variação de repetitividade e reprodutibilidade (%R&R) utilizando a Equação 14 que retornou um $\%R\&R = 4,910333524$.
- A variação da peça (%VP) foi calculada através da Equação 15 resultando em um $\%VP = 99,87937033$.
- E por último realizou-se o cálculo de NDC com a Equação 16, e obteve-se $NDC = 28,68031499$.

Após todos os cálculos das médias e amplitudes dos dados, elaborou-se os gráficos 2, 3 e 4, sendo que o gráfico 2 refere-se a média dos três operadores.

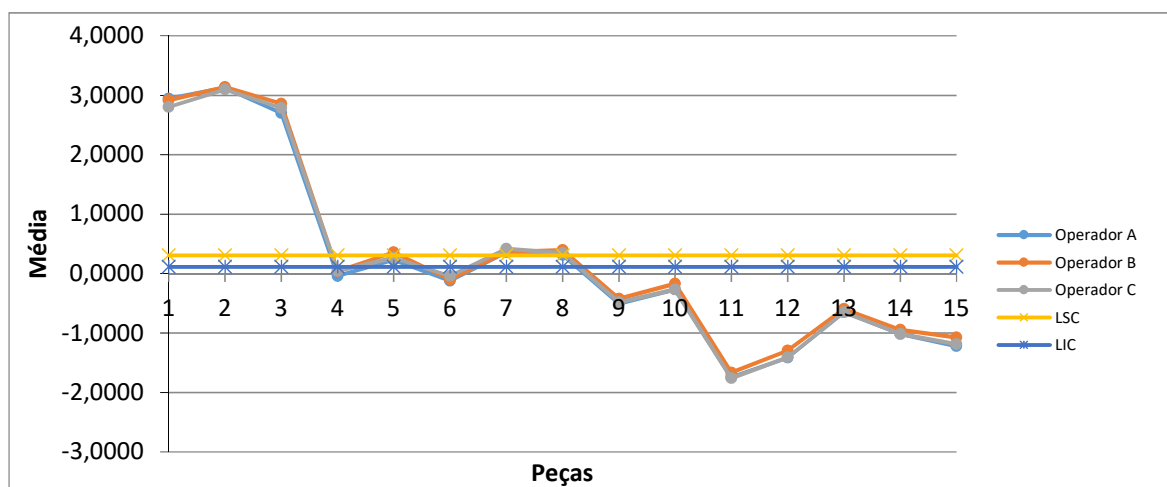


Gráfico 2 – Média dos 3 avaliadores (EXCEL, 2010).

A variação de resultados da média dos 3 avaliadores apresentada no Gráfico 2 é justificada devido às 15 amostras recolhidas no processo apresentarem variação. A amplitude entre os limites de controle representa a repetitividade do sistema de medição, enquanto os pontos refletem a variabilidade entre as peças (processo produtivo). Neste caso, comparamos a repetitividade do sistema de medição (limites de controle) com a variabilidade do processo produtivo (pontos no gráfico).

O gráfico 3 refere-se a amplitude das medições realizadas por cada operador em cada uma das 15 amostras.

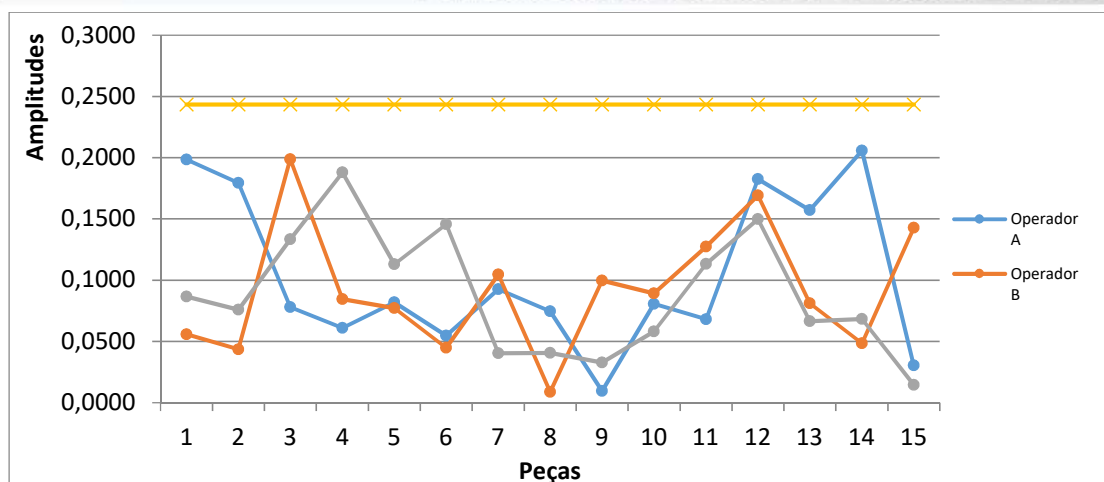


Gráfico 3 – Amplitude dos 3 avaliadores (EXCEL, 2010).

Neste Gráfico 3 representando as amplitudes de cada operador, os resultados são considerados satisfatórios, visto que nenhuma das amplitudes ultrapassaram o limite de controle e indica que a variação dos resultados obtidos por cada operador encontra-se dentro dos padrões estabelecidos.

Por último elaborou-se o Gráfico 4 que apresenta todas as amplitudes e as exibe separadamente por cada operador.

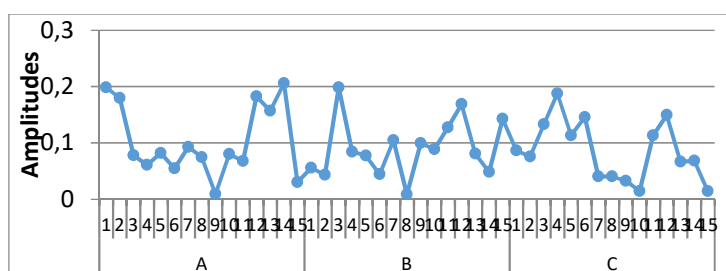


Gráfico 4 – Amplitude dos 3 avaliadores (EXCEL, 2010).

Neste gráfico 4 visualizou-se separadamente o andamento das amplitudes encontradas pelos operadores 1,2 e 3 em cada uma das seções de medições das 15 amostras. Desta forma observou-se que a maior amplitude apresentada foi na medição da peça 14 realizada pelo operador 1.

Através dos cálculos realizados do estudo de R&R os seguintes resultados foram obtidos:

- Percentual de variação do equipamento %VE = 4,093059599, que se enquadra abaixo dos 10% exigidos para aceitação e aprovação do sistema de medição.
- Percentual de variação de repetitividade e reprodutibilidade %R&R = 4,910333524 que se enquadra abaixo dos 10% exigidos para aprovação do sistema de medição.
- Número de categorias distintas NDC = 28,68031499, que se enquadra acima de 5 que é o mínimo exigido para aprovação quanto ao número de categorias distintas.

5. Considerações finais

Baseando-se nos resultados obtidos através dos cálculos presentes no apêndice A, comprovou-se que o sistema de medição composto pela máquina Global Performance apresenta boa

estabilidade, sendo possível observar através do Gráfico 1 que a média de cada uma das seções de medições não ultrapassou os limites de controle (LCI e LCS).

A tendência das medições é considerada aceitável com base nos critérios estabelecidos, visto que a condição imposta por meio da Equação 6 foi atendida.

Comprovou-se por meio do certificado de calibração do equipamento de medição disponibilizado pela empresa, que a máquina apresenta boa linearidade. Observou-se que após a realização de ajustes da máquina, as médias das medições realizadas em diversos ângulos e posições do equipamento situaram-se dentro dos limites de controle, aprovando a máquina Global Performance quanto a sua linearidade.

Conclui-se ainda através dos resultados que o percentual de variação do equipamento é considerado aceitável pois o apresentou $\%VE = 4,093059599$, mantendo-se abaixo dos 10% estabelecidos como critério para aprovação do sistema de medição.

Encontrou-se ainda um percentual de repetitividade e reprodutibilidade $\%R\&R = 4,910333524$ que também se enquadra abaixo dos 10% estabelecidos como critério de aprovação deste sistema de medição.

Todos os critérios exigidos foram atendidos, portanto, o sistema de medição composto pela máquina Global Performance é eficaz e capaz de gerar dados de qualidade, além disso, a variação do sistema de medição apresentou resultados excelentes evidenciando a precisão e eficácia da Global Performance.

Referências

AIAG (Estados Unidos) (Org.). *Análise dos sistemas de medição*. 4. ed. South Field: I.Q.A, 2010. 240 p.

EXCEL 2010 - *Planilhas eletrônicas-principais recursos*. Disponível em: <http://www.virtual.epm.br/material/tis/mat_apoio/excel97/Excel97.htm#_Toc494282424>. Acesso em: 21 set. 2018.

HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE (Reino Unido) (Org.). *GLOBAL Performance*. Disponível em: <<http://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/global-performance>>. Acesso em: 21 set. 2018.

PEDOT, A. *Padronização e sistemas de medição*. Porto Alegre, 2012. 42 slides, color. Disponível em: http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/387_padronizacao_e_sistemas_de_medicao.pdf>. Acesso em: 21 set. 2017.

PEREIRA, R. *Qualidade Automotiva.:MSA - Análise do Sistema de Medição*. 2009. Disponível em: <[Http://qualidadeautomotiva.blogspot.com.br/2009/06/msa.html](http://qualidadeautomotiva.blogspot.com.br/2009/06/msa.html)>. Acesso em: 10 set. 2017.

PORTAL ACTION; *Análise dos Sistemas de Medição*. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao>>. Acesso em: 26 mai. 2017.