

Análise do Sistema de Medição através do estudo de Reprodutibilidade e Repetitividade: um estudo de caso

Lucinéia Carla Loeblein (UFSM) lucineiacarla@yahoo.com.br

Leoni Pentiado Godoy (UFSM) leoni@yahoo.com.br

Diane Cristina Scheer de Oliveira (SETREM) diane_cta@yahoo.com.br

Resumo:

A necessidade de atender os requisitos dos clientes e garantir a precisão nas medidas nas indústrias fornecedoras de peças para montadoras é algo estritamente necessário, para a permanência das mesmas no mercado. Este trabalho tem por objetivo a Análise do Sistema de Medição, através dos estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) em uma indústria metal mecânica fornecedora de peças para montadoras automotivas. De acordo com os métodos empregados na pesquisa, esta se classifica em pesquisa bibliográfica e estudo de caso, estudaram-se os procedimentos estabelecidos pelas entidades de normatização de qualidade e as teorias relacionadas à pesquisa. As etapas do estudo de caso consistiram na preparação das amostras, definição dos colaboradores e orientação, medição/coleta de dados, aplicação dos estudos estatísticos e análise dos dados. O valor de R&R encontrado foi de 42,07%, com este resultado o sistema de medição não é aceitável, precisando de melhorias. A variação entre os operadores foi superior à variação entre os equipamentos, o que indica que as causas podem estar relacionadas com os operadores.

Palavras chave: MSA; Repetitividade e Reprodutibilidade; ISO TS16949: 2009.

Measurement System Analyzer by study of Reproducibility and Repeatability: a case study

Abstract

The need to meet customer requirements and ensure accuracy in measurements in industries that supply parts for automakers is something absolutely necessary, to stay in the same market. This paper aims to Measurement System Analysis, through the Repeatability and Reproducibility studies (R & R) in a metalworking industry supplier of automotive parts to automakers. According to the methods used in the research, this is classified as literature and case study, studied the procedures established by the standardization of quality and theories related to research. The steps of the case study consisted of sample preparation, definition and orientation of employees, measurement / data collection, application of statistical studies and data analysis. The R & R found was 42.07%, with the result that the measurement system is not acceptable as needing improvement. The variation between operators was greater than the variation between devices, which indicates that the causes may be related to the operators.

Key-words: MSA; Repeatability and Reproducibility; ISO TS16949: 2009.

1. Introdução

As empresas nacionais tem a necessidade de atender padrões internacionais de qualidade e inovação, pois é comum que o processo produtivo de um produto ocorra em diversos países. Esta habilidade das indústrias nacionais em atender padrões internacionais, permite que elas participem das redes globais de suprimento. Dentro destes requisitos a serem atendidos, estão à garantia da qualidade dos produtos que depende da normalização e do controle metrológico (SALGADO, 2010).

Devido às necessidades da utilização mais frequente dos dados de medição, tem se buscado a melhoria dos valores de medição, sendo de fundamental importância do uso da Análise do Sistema de Medição (MSA). Um sistema de medição precisa garantir que os resultados estejam corretos, por isso a necessidade do controle e monitoramento do processo de medição. Realizar a Análise do Sistema de Medição é necessária, pois garante a empresa que o seu processo de medição é eficaz, garantido a qualidade dos produtos, ou seja os requisitos do cliente sejam atendidos.

O requisito 7.6 da norma ISO TS 16949:2009, trata do controle de dispositivos de medição e monitoramento, e o subitem 7.6.1 Análise do Sistema de Medição, estabelece que estudos estatísticos devem ser realizados para analisar a variação existente em cada sistema de medição e ensaio. Os métodos analíticos e os critérios de aceitação devem ser seguidos conforme os critérios do cliente. Os métodos estatísticos definidos na norma ISO/TS 16949:2009 são abordados neste trabalho, enfatizando o estudo Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R).

O presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma indústria metal mecânica, fornecedora de peças para montadoras do ramo automotivo. Esta empresa visando atender aos requisitos da norma ISO TS 16949 precisa realizar os estudos estatísticos, e de acordo com os seus clientes estes estudos devem ser os de Repetitividade e Reprodutibilidade. Portanto, este trabalho tem por objetivo aplicação dos estudos R&R em indústria metal mecânica a fim de verificar se o sistema de medição da empresa está adequado ao uso.

2. Referencial teórico

O ramo automotivo possui norma específica de qualidade baseada na ISO 9000. Essa norma específica leva o nome de ISO/TS 16949, onde acrônimo TS vem de *Technical Specification* – Especificação Técnica. É, portanto uma particularização de uma norma maior de qualidade.

A TS 16949, que leva a chancela da ISO, é elaborada pela AIAG (*Automotive Industries Action Group*), uma equipe de especialistas formada por representantes das principais indústrias automotivas dos Estados Unidos, Europa e Japão. Essa norma fornece requisitos precisos para cada um dos tópicos apresentados pela ISO 9000.

Segundo a ISO/TS 16949:2009, a análise do sistema de medição deve ser realizada para verificar a variação existente em cada sistema de medição. E a empresa deve estabelecer processos para garantir que a medição e o monitoramento possam ser realizados de uma maneira coerente. No caso da análise do sistema de medição, deve ser assegurada a repetitividade e a reprodutibilidade das medições, que é alcançada através da elaboração de estudos de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

A utilização dos estudos estatísticos e a análise correta dos mesmos permitem o aperfeiçoamento da qualidade e o aumento da produtividade, oportunizando a melhoria dos processos. Este artigo apresenta uma aplicação de métodos estatísticos definidos pela norma ISO/TS 16949:2009 e pelos requisitos dos clientes.

2.1 Análise do Sistema de Medição (MSA)

O INMETRO (2000) denomina a medição como “conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza” (INMETRO, 2000, p. 23), e “a metrologia abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia” (INMETRO, 2000, p. 23).

A medição é utilizada como uma ferramenta para monitorar e acompanhar a produção, controlar ou investigar um processo, garantir a qualidade de produtos e processos de fabricação e a classificação das peças em conformes e não conformes (ALBUQUERQUE, apud SALGADO, 2010). Determinar a capacidade de um sistema de medição é de suma importância para a melhoria da qualidade, pois nos processos de medição surgirão variabilidades que podem ocorrer em virtude do instrumento ou então do operador (BURDICK et al., 2003).

De acordo com Pedott (2010), a Engenharia da Qualidade possibilitou a expansão do uso de técnicas e ferramentas da qualidade, as quais servem para evitar perdas e desperdícios nos processos fabris. Deste modo o MSA é uma ferramenta da qualidade, que contribui para a melhoria dos processos produtivos, através da garantia que a medição realizada está correta. Ou seja, “determina a variação do sistema de medição proporcionalmente à variação do processo e/ou à tolerância permitida. É o processo pelo qual um sistema de medição é analisado, para avaliar se a qualidade deste sistema está adequada ao uso” (AIAG, 2006, p. 141).

A MSA é um conjunto de operações, procedimentos, dispositivos de medição, equipamentos e pessoal usado para atribuir um número à característica que está sendo medida. E a MSA tem por objetivo conhecer as fontes de variação que podem afetar os resultados obtidos pelo sistema de medição (operador + instrumento + características). São as propriedades estatísticas dos resultados que definem a qualidade de um sistema de medição. (AIAG, 2004). Pode ser usado para verificar o que está causando variações nas medições, estas variações podem ser relacionadas às pessoas, peças ou mesmo o próprio sistema de medição (AIAG, 2006).

Em relação aos benefícios da aplicação da Análise do Sistema de medição pode se dizer que a mesma quando bem aplicado proporciona confiança do sistema de medição e no equipamento que está sendo usado, além de proporcionar informações referentes às causas das deficiências do processo de medição (AIAG, 2006). Estas causas podem ser trabalhadas para que o sistema de medição possa ser melhorado.

Canossa (2011), afirma que todo resultado de uma medição possui erros e desvios, essa diferença dos valores de medição de uma peça é atribuída ao operador ou ao instrumento. A análise do sistema de medição pode ser feita através de cinco tipos de estudo: estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutibilidade. Neste trabalho serão abordados os estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R), pois são estes os exigidos pelo cliente.

2.2 Repetitividade

A repetitividade pode ser definida como sendo a variabilidade de um único operador, é o resultado da variação das medições com um único equipamento de medição, o qual foi usado diversas vezes por apenas um operador, medindo uma determinada característica. É a variação própria do instrumento ou a sua capacidade (AIAG, 2004). Ou seja, é a variação das medições obtidas através da utilização do mesmo equipamento de medição, utilizado várias vezes e medindo a mesma característica de diversas peças.

Portanto a repetitividade é uma variação casual proveniente de repetidas medições realizadas

sob condições fixas e definidas. As causas que podem originar em uma repetitividade, segundo AIAG (2004) são:

- a) Variação dentro da peça: forma, posição, acabamento;
- b) Variação dentro do instrumento de medição: desgaste, falha do equipamento, manutenção precária;
- c) Variação dentro do padrão: qualidade, classe e desgaste;
- d) Variação dentro do método: no ajuste, na técnica, na fixação da peça;
- e) Variação dentro do avaliador: falta de experiência, posição, treinamento, habilidade;
- f) Variação dentro do ambiente: temperatura, umidade, luminosidade;
- g) Violação de alguma premissa: estabilidade, operação apropriada;
- h) Projeto do instrumento não robusto ou método não robusto, uniformidade precária;
- i) Dispositivo de medição errado para aquela aplicação;
- j) Deformação/ distorção da peça ou do dispositivo de medição;
- k) Aplicação: tamanho da peça, posição, erro de observação.

2.3 Reprodutibilidade

A reprodutibilidade é a variação entre as médias das medidas realizadas por diversos operadores, usando o mesmo equipamento de medição e medindo igual característica da peça (AIAG, 2004). Isto ocorre muitas vezes devido a habilidade de cada operador em manipular o instrumento. Segundo o AIAG (2004), as possíveis causas para o erro de reprodutibilidade são:

- a) Variação entre peças;
- b) Variação entre instrumentos;
- c) Variação entre padrões;
- d) Variação entre métodos;
- e) Variação entre avaliadores;
- f) Variação entre ambientes;
- g) Violação de alguma premissa no estudo;
- h) Eficácia do treinamento do operador;
- i) Aplicação - tamanho da peça, posição, erro de observação.

Em relação aos resultados referentes à aplicação dos estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade, caso o valor da repetitividade seja maior quando comparada com a reprodutibilidade, as causas podem ser em virtude do equipamento de medição necessitar de manutenção, ou o instrumento deveria ser reprojetoado para uma maior robustez, ou o local para a realização da medição é inadequado, ou ainda pode haver uma grande variação na peça. E no caso da reprodutibilidade ser alta quando comparada com a repetitividade, as causas podem estar relacionadas com o operador, o qual necessita ser melhor treinado em como ler e usar o equipamento de medição, ou existe a necessidade de um dispositivo para ajudar o operador na utilização do instrumento de medição (AIAG,1997).

Para o AIAG (1997), em sistemas de medição cuja finalidade seja a análise do processo de produção, é necessária seguir a seguinte regra prática para sua aceitação:

- Erro menor que 10%, o sistema de medição é aceitável.
- Erro entre 10% e 30%, o sistema de medição pode ser aceito.
- Erro acima de 30%, o sistema de medição não é aceitável, sendo necessário medidas para melhorá-lo.

Existem vários métodos a serem empregados para a análise dos estudos de R&R, os quais de acordo com o AIAG (2006) podem ser:

- a) Contínua;
- b) Método da Amplitude;
- c) Estimativa de Variância;
- d) Porcentagem de Tolerância;
- e) Método da Média e Amplitude;
- f) Análise da Variância (ANOVA);
- g) Porcentagem de Tolerância da Análise da Variância (ANOVA).

Em virtude do objetivo do trabalho e o número de amostras utilizadas, será utilizado o método da Média e Amplitude, sendo este um dos métodos mais utilizados. “Neste método é possível quantificar os componentes de repetitividade e reprodutibilidade das variabilidades” (PEDOTT, 2010, p. 27). O método da Média e Amplitude não avalia a interação entre os dois componentes, pode ser usado para detectar problemas assinaláveis, quanto de capacidade do sistema de medição.

3. Metodologia

De acordo com os métodos empregados na pesquisa, esta se classifica em pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Em pesquisa bibliográfica, pois primeiramente realizou-se um estudo, em livros, normas, revistas, dissertações, anais de congressos, referente ao assunto abordado na pesquisa, para após realizar o estudo de caso (GIL, 2010). Também estudou-se os procedimentos estabelecidos pelas entidades de normatização de qualidade, e teorias subjacentes aos procedimentos estabelecidos.

O estudo de caso foi realizado em uma indústria metal mecânica de baixo volume de produção, fornecedora de peças para o ramo automotivo. Para crescer e manter-se entre os fornecedores dessas montadoras, têm-se a necessidade de melhorar os processos, numa busca contínua de melhorias, dando ênfase a satisfação do cliente e ao atendimento dos requisitos exigidos.

Este trabalho tem por objetivo a análise do sistema de medição da indústria, buscando atender os requisitos do cliente e também os requisitos da ISO TS 16949:2009. Neste caso a exigência do cliente, para assegurar este requisito da norma, é que devem ser desenvolvidos estudos estatísticos que garantam a repetitividade e a reprodutibilidade das medições, a qual é controlada através da elaboração de estudos de R&R (Repetitividade e Reprodutibilidade).

As etapas do estudo de caso consistiram na preparação das amostras, definição dos colaboradores e orientação, medição/coleta de dados, aplicação dos estudos estatísticos e análise dos dados.

4.0 Análise e discussão dos resultados

Para a determinação do R&R foram selecionados todos os operados envolvidos com o processo de medição de peças na fábrica, totalizando 10 operadores. Instruíram-se os

operadores em relação ao objetivo do desenvolvimento da atividade e o modo de execução da mesma.

Selecionou-se aleatoriamente 10 peças iguais, as quais foram numeradas de 1 a 10. A cota a ser medida para análise estatística é de 81,9 mm, com tolerância de ± 2 mm. O instrumento de medição utilizado foi o mesmo para todos os colaboradores, sendo este um paquímetro, com tolerância de 0,02mm.

Cada operador mediu as 10 peças ao acaso e os resultados foram anotados em uma planilha, repetindo a operação por mais duas vezes, até que cada operador mediu três vezes cada peça. Os dados foram anotados em uma planilha.

Na figura 01 tem se a média das medidas e média das amplitudes (maior medida – menor medida) de cada operador. Nesta figura cada operador foi classificado como A, B, C e assim sucessivamente e a figura 2 apresenta a média de cada peça, calculada após a efetivação de todas as medições pelos colaboradores.

Média (X)	Amplitude R	Média (X)	Amplitude R
Operador A		Operador F	
81,920	0,020	81,933	0,040
Operador B		Operador G	
81,903	0,030	81,923	0,030
Operador C		Operador H	
81,913	0,020	81,910	0,000
Operador D		Operador I	
81,897	0,060	81,920	0,030
Operador E		Operador J	
81,960	0,000	81,890	0,020

Figura 1 - Média e amplitude das medições

Média por peça	
1	82,01
2	82,00
3	82,00
4	81,86
5	81,82
6	82,01
7	81,98
8	81,74
9	81,81
10	81,95

Figura 2 - Média de cada peça

Desse modo a amplitude das médias das medidas dos operadores é:

$$X_{dif} = \text{Max}(X_a, X_b, X_c \dots X_j) - \text{Min}(X_a, X_b, X_c \dots X_j)$$

$$X_{dif} = 81,96 - 81,89 = 0,07$$

A média das amplitudes dos dez operadores é:

$$R = (R_a + R_b + R_c \dots R_j) \div 10$$

$$R = (0,020 + 0,030 + 0,020 \dots 0,020) \div 10 = 0,025$$

E a amplitude das médias das peças é:

$$R_p = \text{Max}(X_1, X_2, X_3 \dots X_{10}) - \text{Min}(X_1, X_2, X_3 \dots X_{10})$$

$$R_p = 82,01 - 81,74 = 0,27$$

Após a obtenção destes dados, segue-se para a análise da repetitividade e reprodutibilidade.

Para fazer o cálculo da variação do equipamento (VE), ou seja a repetitividade da operação, faz-se a multiplicação da média das amplitudes médias (R) pela constante K_1 , que varia de acordo com o número de repetições das medidas dos operadores e para este caso onde há três repetições o valor é 0,5908.

$$VE = R \times K_1$$

$$VE = 0,025 \times 0,5908$$

$$VE = 0,01477$$

A variação entre operadores (VO), considerada a reprodutibilidade é calculada pela seguinte fórmula:

$$VO = \sqrt{(X_{dif} \times K_2)^2 - (VE^2 \div n \times r)}$$

O valor de K_2 é determinado através do número de operadores, neste trabalho são 10 operadores, portanto o valor de K_2 é 1,67, n é considerado o número de operadores e r o número de replicações.

$$VO = \sqrt{(0,07 \times 0,5231)^2 - (0,01477^2) \div (10 \times 3)}$$

$$VO = 0,0365$$

A variação entre repetitividade e reprodutibilidade é calculada através da fórmula:

$$R \& R = \sqrt{VE^2 + VO^2}$$

$$R \& R = \sqrt{0,01477^2 + 0,0365^2}$$

$$R \& R = 0,0393$$

A variação da peça é calculada por:

$$VP = R_p \times K_3$$

Onde K_3 , refere-se ao número de peças, neste caso são 10 peças e o valor portanto 0,3146.

$$VP = 0,27 \times 0,3146$$

$$VP = 0,085$$

A variação total calcula-se:

$$VT = \sqrt{R \& R^2 + VP^2}$$

$$VT = \sqrt{0,0393^2 + 0,085^2}$$

$$VT = 0,0936$$

A partir destes resultados pode se calcular em percentual os valores de VE, VA e R&R.

$$\% VE = 100 \times (VE/VT)$$

$$VE = 15,7\%$$

$$\% VA = 100 \times (VA/VT)$$

$$VA = 39\%$$

$$\% R \& R = 100 \times (R \& R/VT)$$

$$R \& R = 42,07\%$$

Analisando-se os valores deste percentual pode-se determinar se o processo de medição é aceitável ou não. Determinado o resultado do R&R obteve-se um resultado de 42,07%, com este resultado o sistema de medição não é aceitável, pois de acordo com o AIAG (1997) acima de 30% ele precisa ser melhorado. Além disso, a reprodutibilidade é superior a repetitividade, o que indica que as causas podem estar relacionadas com o operador.

Conclusão

Na indústria onde foi realizado o estudo de caso, existe a necessidade da percepção da importância da Análise do Sistema de Medição e da utilização dos dados para a melhoria dos processos de produção. Atualmente a visão existente é de que o estudo deve ser feito apenas para cumprimento de requisitos do cliente. Além da tabulação dos dados é necessária a realização das análises, a tomada de decisão para ações corretivas ou melhoria do processo e acompanhamento dos resultados.

Na análise do sistema de medição obteve-se um resultado no estudo de R&R de 42,07%, o que demonstra que o sistema de medição necessita de melhoria. Analisando-se os dados percebe-se que o problema encontra-se na variação do operador e não peça a peça, pois o índice de reprodutibilidade do operador foi maior que o índice de repetitividade das peças.

Deste modo, deve-se realizar um processo de melhoria no sistema de medição, para que o sistema de medição se torne eficaz, pois além da empresa não estar atendendo aos requisitos da ISO TS e os requisitos do cliente, também não está garantindo a qualidade dos seus produtos, pois o processo de medição não é eficaz, não garantindo que o resultado da medição efetuada pelo operador esteja correto. Sugere-se que seja aberta uma não conformidade interna para verificar a causa raiz do problema e ações para a resolução do problema. Para que após a implantação das melhorias, seja realizada novamente a MSA, verificando se o problema foi solucionado.

O MSA precisa ser bem entendido para que possa ser uma ferramenta que contribua para melhoria dos processos e do produto. Embora seja de complexidade técnica para quem seleciona e aplica o MSA, a compreensão de sua análise por parte de gestores é necessária para efetivar ações adequadas na correção do processo.

Referências

AIAG. *Análise do sistema de medição – MSA*. Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. 3 ed. São Paulo, 2004.

_____. *Fundamentos de Controle Estatístico do Processo - CEP*. Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. 1 ed. São Paulo, 1997

_____. *CQI – 10: Solução Eficaz de Problemas*. Trad. Instituto da Qualidade Automotiva. São Paulo, 2006.

BURDICK, R. K.; BORROR, C. M.; MONTGOMERY, D. M. *A review of methods for measurement systems capability analysis*. Journal of Quality Technology Session. Texas, out 2003.

CANOSSA, S. Gerenciando o Sistema de Medição. Disponível em: <
<http://www.mantenimentomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Medi%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 04 de outubro de 2011.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

INMETRO. *Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia*. 2 ed. Brasília: INMETRO, 2000.

ISO/TS 16949. *Quality management systems Automotive suppliers*. Genève: ISO, 2009.

PEDOTT, A. H. *Análise de dados funcionais aplicada ao estudo de repetitividade e reprodutibilidade: anova das distâncias*. Dissertação de Mestrado. UFRGS, 2010.

SALGADO, J. V. F. *Sistemática de Avaliação e Melhoria do Processo de Medição com suporte de um Laboratório de Serviços e Assessoramento Remoto*. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2010.