

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE UMA MÁQUINA DE MEDIR POR COORDENADAS: UM PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

STABILITY ANALYSIS OF A COORDINATE MEASURING MACHINE: AN EXPERIMENTAL PROCEDURE

Fábio Alecsandro Baum¹

Evandro Dematté¹

Alexandre Borges Fagundes¹

Delcio Pereira¹

Fernanda Hänsch Beuren¹

¹Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Resumo:

As máquinas de medir que trabalham com o sistema de medição por coordenadas são equipamentos de medição que tiveram uma grande evolução no que se refere às tecnologias de dimensionamento empregadas e na precisão das suas medições. A sua utilização nas indústrias compreendem a sua rapidez nos processos de medição e a sua capacidade de dimensionamento de peças com complexa geometria e, desta maneira, trouxeram uma grande contribuição para a qualidade dos produtos acabados. Como todas as outras máquinas e equipamentos de dimensionamento, estas também estão sujeitas às variações dimensionais, devendo por isto, passar por determinados estudos estatísticos que analisam a variabilidade das mesmas comprovando assim a sua capacidade para realizar determinadas medições. Este artigo foi concebido baseando-se num estudo que verificou a estabilidade de uma máquina de medição que trabalha com um sistema tridimensional de coordenadas determinando assim se a mesma possui aptidão suficiente para realizar as corretas aferições de planicidade da face de assentamento de um cabeçote de um motor de combustão. Todos os dados mensurados foram registrados e ilustrados em gráficos por meio dos quais foi possível verificar que a máquina possui aptidão suficiente para este tipo de dimensionamento.

Palavras-chave: *medição; estabilidade; máquina de medir por coordenadas.*

Abstract:

The measuring machines that work with the coordinate measuring system are measurement equipment that has undergone a great evolution with regard to the sizing technologies employed and the precision of its measurements. Their use in industries includes their rapidity in measurement processes and their ability to dimension parts with complex geometry and, in this way, have made a great contribution to the quality of the finished products. Like all other sizing machines and equipment, these are also subject to dimensional variations, and must therefore pass through certain statistical studies that analyze the variability of the same, thus proving their ability to perform certain measurements. This paper was designed based on a study that verified the stability of a measuring machine that works with a three-dimensional coordinate system, thus determining if it has sufficient aptitude to perform the correct flatness measurements of the seating face of a head of a combustion engine. All the measured data were recorded and illustrated in graphs through which it was possible to verify that the machine has sufficient aptitude for this type of dimensioning.

Keywords: *measurement; stability; coordinate measuring machine.*

1. Introdução

1.1 O processo de medição

Os processos de medição são evidenciados pela atribuição de números ou valores para determinadas características das peças ou produtos que estão sendo dimensionados e, desta maneira, fornecendo informações sobre as suas dimensões para o correto desenvolvimento e execução do seu projeto (AIAG, 2010).

Segundo Lira (2008), os valores encontrados durante um processo de dimensionamento de uma determinada característica, expressão os resultados de forma numérica que sempre estarão associados à um grau de incerteza ocasionado por determinados fatores que vêm a ocorrer durante processo e que devem ser do conhecimento do operador. Estes fatores podem ser originários de:

- a) Condições ambientais;
- b) Métodos de medição;
- c) Arredondamentos;
- d) Conversão de unidades;
- e) Leituras estimadas;
- f) Instrumentos envolvidos.

Os valores encontrados em um processo de medição são caracterizados principalmente pela sua tendência e por sua variância, sendo que, esta última é na maioria dos casos indesejável, exceto quando a variação é ocasionada por pequenas mudanças na característica que está sendo medida e, por isto, conclui-se que o sistema de medição que está sendo utilizado apresenta boa sensibilidade para detectar essas variações que podem comprometer o projeto de um determinado produto como a influência da temperatura sobre o comprimento de uma barra de metal (MENEZES, 2013).

Bazílio et al. (2012), afirmam que para os cálculos de incerteza no processo de medição, existem diversos guias orientativos nacionais e internacionais que disponibilizam metodologias de cálculos para cada tipo de ensaio em decorrência das dificuldades de compreensão e do domínio de algumas ferramentas estatísticas necessárias para estes cálculos.

Segundo Menezes (2013), se a variação em um sistema de medição for demasiadamente grande, poderá influenciar diretamente o controle de um processo levando a ocorrência de erros graves durante o controle estatístico do processo onde pode-se verificar também o impacto ocasionado por duas situações bastante comuns, sendo que, a última ocasiona um impacto direto no cliente sendo considerada por isto a mais grave gerando perdas e prejuízos para as empresas:

- a) Uma peça boa ser considerada ruim;
- b) Uma peça ruim ser considerada boa.

Silva Neto (2012), afirma que o procedimento básico para tratar os erros de medição, é considerar que em todos os processos destinados ao dimensionamento de certas características, os erros de medição sempre vão existir, ou seja, a análise dos erros é uma tarefa trabalhosa e, por isto, nunca é aceito um resultado verdadeiramente significativo sem antes passar por análises de laboratório.

1.2. Variações dimensionais

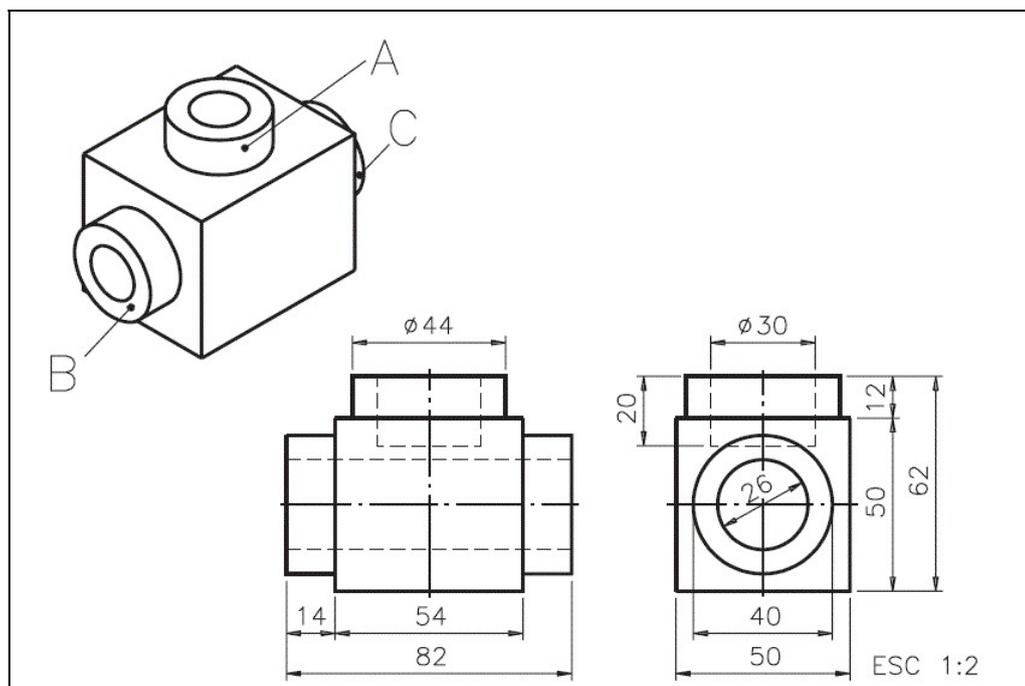
Cerqueira (2012), explica que as variações que ocorrem durante a fabricação das peças ou dos componentes produzidos podem interferir diretamente no acabamento e na montagem dos mesmos gerando uma conseqüente degradação da sua qualidade, por isto, durante o

desenvolvimento dos componentes, o correto gerenciamento dimensional dos mesmos é muito importante, pois estabelece um processo que permite uma maior quantidade de variação sem impactar diretamente na qualidade do produto final.

Nos desenhos de peças ou componentes, existem diferentes tipos de tolerâncias dimensionais que são estabelecidas por coordenadas cartesianas, e os sistemas de representação geométrica e vetorial que são mais evoluídos e precisos levando a obtenção de projetos de peças e componentes com características construtivas mais detalhadas, e assim, atendendo melhor a sua especificação (UMARAS, 2010).

Uma peça deve ser desenhada e detalhada com clareza e precisão para que não exista a possibilidade de ocorrência de erros no desenvolvimento e no restante do seu projeto, possibilitando também, que os profissionais na hora de executá-lo não precisem de mais esclarecimentos que por ventura venham a acarretar em perda de tempo, ou seja, a clareza e a lógica das medidas devem garantir que nos processos de manufatura as peças serão feitas com facilidade, sem erros e sem defeitos para não haver o risco de perda de tempo e dinheiro. Na Figura 1 é demonstrado um desenho de uma peça com suas respectivas cotas (SCHNEIDER, 2008).

Figura 1 - Demonstração de cotagem de uma peça mecânica.



Fonte: Tecforma Usinagens (2016).

1.3. GD&T – (Geometric Dimensioning and Tolerancing)

A técnica de toleranciamento caracterizada pelo sistema “GD&T” compreende uma linguagem utilizada a nível internacional sendo usada em praticamente todos os projetos e desenvolvimento de peças e componentes descrevendo as suas principais características como o seu tamanho, forma, orientação e a localização dos seus principais elementos. Utiliza um conjunto de símbolos, regras, definições e convenções que são devidamente representadas nos desenhos dos componentes (SENAI, 2007).

A qualidade de um produto é garantida pela exatidão geométrica e dimensional de suas características e as suas variações dimensionais admissíveis são especificadas durante o desenvolvimento do mesmo. Quando aplicado ao projeto de um componente ou produto, o sistema de toleranciamento “GD&T” permite estabelecer uma zona de variação dentro da qual os desvios são permitidos (LOOSE, 2010).

Segundo Silva Neto (2012), as tolerâncias geométricas permitem estabelecer as variações dos limites que são permissíveis tanto na forma como na posição dos elementos principais de um componente sem prejudicar o seu funcionamento e a sua intercambialidade com as outras.

1.4. Instrumentos de medição

Segundo Lira (2008), os instrumentos de medição são todos os dispositivos e equipamentos que podem ser utilizados sozinhos ou em conjunto com outros dispositivos complementares que estabelecem os valores de uma determinada grandeza que está sendo mensurada. Conforme as tecnologias de manufatura e produção foram evoluindo, os sistemas de medição ficaram mais precisos e muito bem elaborados com melhor exatidão e múltiplos recursos exigindo treinamento para capacitação e conhecimento dos operadores para utilizá-los corretamente.

Segundo Behar (1976), os instrumentos de medida mais comuns são:

a) Instrumentos de medida direta – são dispositivos que fornecem diretamente os valores das medidas através de uma escala graduada como as régua e o metro em forma de fitas flexíveis;

b) Paquímetros – são dispositivos utilizados para o dimensionamento de peças e componentes de pequenas e médias precisões;

c) Instrumentos para medir ângulos – que compreendem os esquadros e os goniômetros utilizados para medir e verificar os ângulos e a perpendicularidade de peças mecânicas;

d) Micrômetros – são os dispositivos usados para medições de maior precisão do que as medições obtidas com calibres ou paquímetros;

e) Instrumentos auxiliares – que servem para mensurar uma grandeza sem indicar diretamente o valor da medida como os dispositivos PNP (passa e não passa), gabaritos de inspeção, os calibradores de folga e de roscas e também os compassos com o auxílio de uma régua graduada.

A confiabilidade metrológica dos instrumentos e dos sistemas de medição são garantidas pela calibração dos mesmos, ou seja, todos os instrumentos, dispositivos e os sistemas de medição devem ser rotineiramente calibrados em intervalos de tempo definidos (ALBERTAZZI; SOUZA, 2008).

Todos os instrumentos ou equipamentos de medição precisam ser calibrados principalmente quando são usados em atividades econômicas ou quando são envolvidos em negócios jurídicos de eventuais naturezas como civil, trabalhista, fiscal, administrativa, processual e comercial devendo ser calibrados periodicamente de acordo com a necessidade e a precisão de cada equipamento. Após ser realizada a calibração, é emitido um certificado de calibração para o instrumento calibrado que é feito pelo laboratório metrológico (INMETRO, 2007 apud LIBRANTZ; ARAÚJO; BELAN, 2012, pg. 84).

1.5. Máquina de medir por coordenadas - (MMC)

As indústrias de máquinas e equipamentos trouxeram uma grande contribuição para o desenvolvimento da industrialização e da economia de vários países, fornecendo máquinas e equipamentos cada vez mais modernizados e assim incorporando novos conhecimentos em tecnologia nos processos produtivos elevando a produtividade e o conseqüente crescimento econômico (MARSON, 2014).

Atualmente, os produtos fabricados possuem as suas características dimensionais com tolerâncias cada vez menores e bastante críticas, impulsionando o surgimento das máquinas de medir por coordenadas, que proporcionaram uma grande contribuição para o advento de

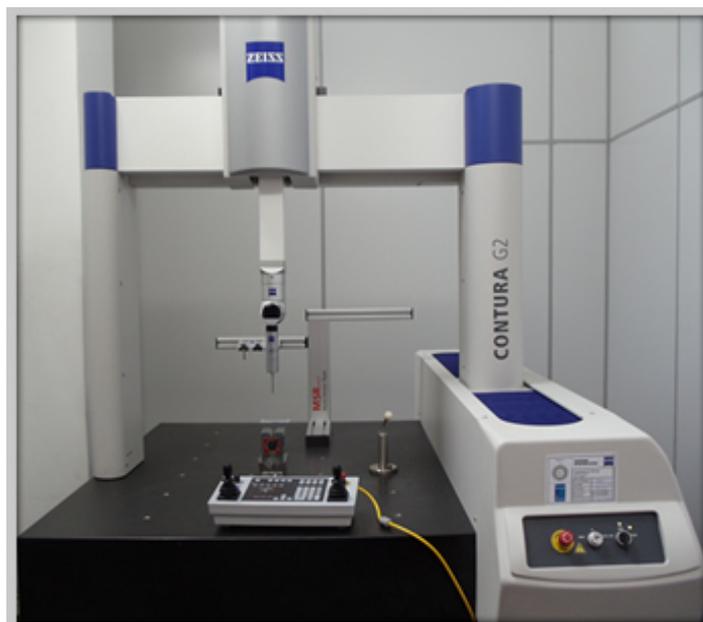
processos de controle de qualidade mais flexíveis e confiáveis (VALDÉS; GIACOMO; PAZIANI, 2005).

Silva Neto (2012), afirma também que a evolução dos processos de medição permitiu o surgimento de modernas máquinas e equipamentos como as máquinas de medir que trabalham com um sistema de dimensionamento tridimensional por coordenadas (MMC's) que determinam as coordenadas de vários pontos ao redor da peça a controlar e assim determinando a sua geometria dimensional, por isto, as máquinas de medir por coordenadas vêm substituindo vários instrumentos e dispositivos manuais de medição.

Segundo Sá (2008), as máquinas de medir por coordenadas, como demonstrado na Figura 2, são muito utilizadas na indústria durante os processos de medição em peças de forma bastante complexa que são produzidas em série devido a sua grande precisão e versatilidade, mas apesar dessa grande versatilidade, o seu comportamento metrológico é influenciado por diversos fatores externos ou internos que acabam afetando a sua capacidade de medição, se comparados às suas especificações.

Segundo Hamburg-Piekar (2006), a utilização das MMC's nas indústrias é destinada ao controle geométrico e dimensional das peças de produção, por isto, estas máquinas vêm ganhando uma importância cada vez maior nos processos de medição. As máquinas de medir por coordenadas são compostas pelos seguintes subsistemas:

Figura 2 – Máquina tridimensional ZEISS CNC – Modelo CONTURA G2.



Fonte: Polistampo (2016)

- a) Estrutura e guias;
- b) Sistema de fixação de peças;
- c) Sistema de troca de palpadores;
- d) Sensoriamento e compensação;
- e) Interface com o operador;
- f) Software de medição;
- g) Escalas de medição;
- h) Cabeçote de medição;
- i) Comando numérico (CNC).

1.6. Estabilidade dos sistemas de medição

A estabilidade caracteriza-se pela variação total das medições e tendências de um equipamento ou instrumento de medição durante um intervalo de tempo estabelecido e é definida quando está se medindo uma única peça durante todo este intervalo de tempo e analisa-se por sua vez, uma mesma característica durante todas as sucessivas medições efetuadas pelo equipamento ou instrumento de medição analisado (AIAG, 2010).

Segundo Albertazzi e Souza (2008), a estabilidade de qualquer equipamento é uma característica muito importante em um processo de medição, pois é por meio de suas análises que se consegue prever o seu comportamento. É avaliada através de ensaios periódicos que são feitos através de um número determinado de medições repetidas utilizando-se um único instrumento de medição e também uma amostra utilizada como referência ou padrão de medição dentro dos intervalos de tempo pré-estabelecidos.

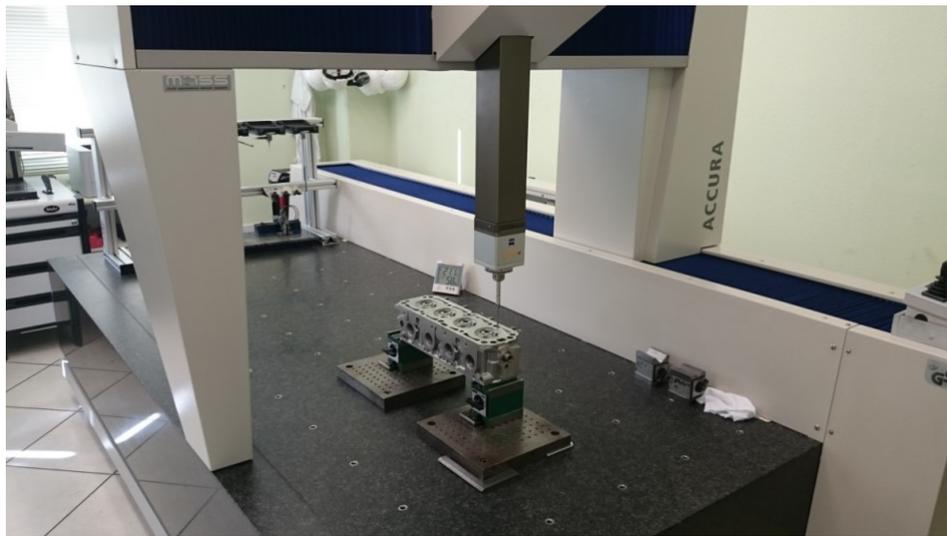
2. Procedimento experimental

O experimento foi conduzido através de procedimento realizado com uma máquina de medir por coordenadas através das medições de planicidade na face de assentamento de um cabeçote de um motor de combustão interna a qual foi possível analisar a estabilidade das suas medições. O estudo seguiu as etapas do experimento que são definidas pelo Manual de MSA 4º Edição (AIAG, 2010). Inicialmente a amostra (Cabeçote) foi corretamente posicionada na máquina de maneira que fique mais alinhada possível em relação aos eixos X, Y e Z do sistema tridimensional de coordenadas da máquina como demonstrado na Figura 3,

para em seguida, ser desenvolvida a programação responsável pela execução das medições de planicidade na face de assentamento do cabeçote.

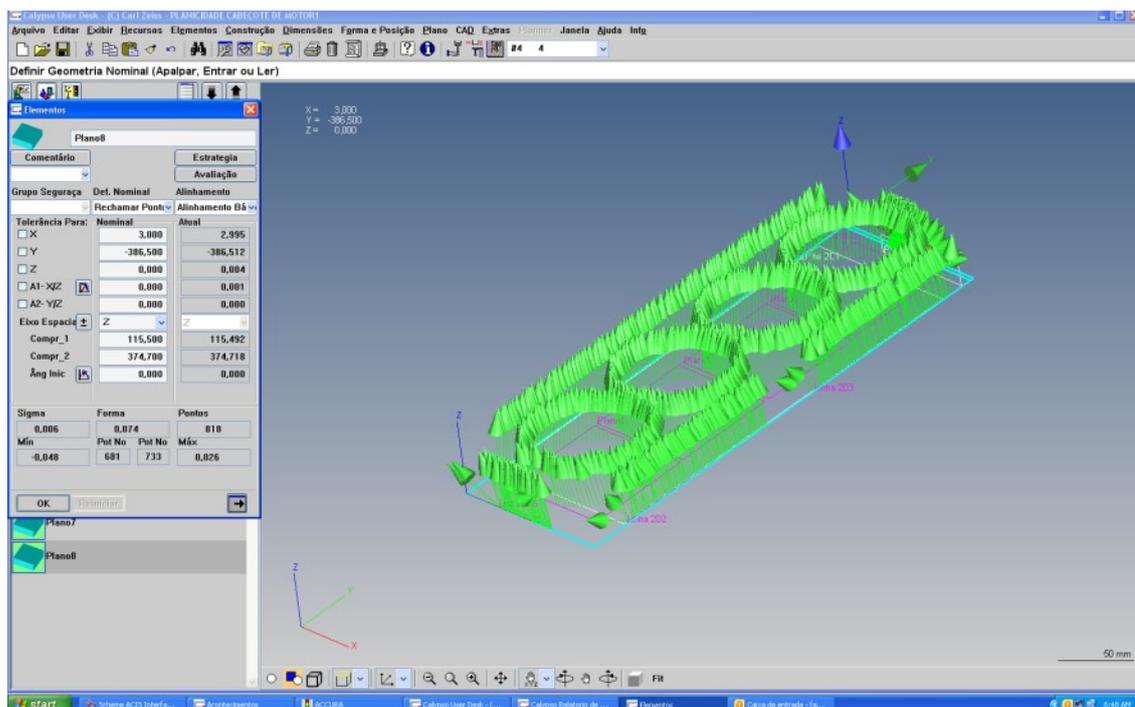
A planicidade do cabeçote foi medida através de escaneamentos criteriosamente desenvolvidos com a ponteira de medição da máquina ao redor das câmaras de combustão e nas faces laterais de assentamento como está demonstrado na Figura 4.

Figura 3 – Cabeçote devidamente posicionado na MMC para a realização das medições.



Fonte: Autoria própria (2017)

Figura 4 – Representação dos planos escaneados na face de assentamento do cabeçote.



Fonte: Autoria própria (2017)

Conforme apresenta a Figura 4, a planicidade do cabeçote foi medida através do escaneamento de quatro planos ao redor das câmaras de combustão e com linhas escaneadas pelas laterais de assentamento sendo que, todos estes elementos calculados como sendo um plano único pelo sistema operacional da máquina fornecendo um único resultado final que define o valor da planicidade do referido cabeçote.

2.1. Coleta dos dados

Os dados (medições) foram coletados em um período de tempo de 20 dias sendo feitas cinco medições diárias resultando em um total de 100 medições realizadas que logo após foram inseridas em uma planilha de Excel na qual foram calculados também a média e a amplitude dos subgrupos de medições definidos, sendo que, cada subgrupo foi composto por cinco medições equivalente à um período diário como demonstrado na Tabela 1.

Depois dos cálculos dos valores das médias e das amplitudes dos subgrupos de medições, os mesmos foram ilustrados na forma de gráficos de análise que serviram para a conclusão do resultado final do estudo. Na sequência, foram estabelecidos os limites de controle a serem aplicados nos gráficos das médias e nos gráficos das amplitudes, definindo um intervalo dentro do qual os valores obtidos não deveriam ultrapassar para que o resultado do estudo realizado fosse considerado aceitável.

Tabela 1 – Valores encontrados para a média e amplitude dos subgrupos de medições.

	MEDIDAS					DATA	MEDIA	AMPLITUDE
1	0,0330	0,0330	0,0320	0,0320	0,0320	13/02/2017	0,0324	0,0010
2	0,0330	0,0330	0,0320	0,0330	0,0320	14/02/2017	0,0326	0,0010
3	0,0310	0,0310	0,0310	0,0330	0,0330	15/02/2017	0,0318	0,0020
4	0,0320	0,0330	0,0320	0,0310	0,0310	16/02/2017	0,0318	0,0020
5	0,0320	0,0320	0,0310	0,0320	0,0310	17/02/2017	0,0316	0,0010
6	0,0320	0,0310	0,0320	0,0320	0,0320	20/02/2017	0,0318	0,0010
7	0,0320	0,0320	0,0330	0,0320	0,0330	21/02/2017	0,0324	0,0010
8	0,0330	0,0330	0,0320	0,0330	0,0340	22/02/2017	0,0330	0,0020
9	0,0320	0,0320	0,0310	0,0310	0,0320	23/02/2017	0,0316	0,0010
10	0,0320	0,0320	0,0310	0,0330	0,0330	24/02/2017	0,0322	0,0020
12	0,0330	0,0320	0,0330	0,0330	0,0340	28/02/2017	0,0330	0,0020
13	0,0320	0,0330	0,0330	0,0340	0,0340	01/03/2017	0,0332	0,0020
14	0,0330	0,0340	0,0330	0,0320	0,0330	02/03/2017	0,0330	0,0020
15	0,0340	0,0330	0,0330	0,0340	0,0320	03/03/2017	0,0332	0,0020
16	0,0340	0,0330	0,0330	0,0320	0,0330	06/03/2017	0,0330	0,0020
17	0,0320	0,0310	0,0330	0,0310	0,0320	07/03/2017	0,0318	0,0020
18	0,0320	0,0310	0,0330	0,0320	0,0320	08/03/2017	0,0320	0,0020
19	0,0310	0,0330	0,0330	0,0320	0,0320	09/03/2017	0,0322	0,0020
20	0,0330	0,0330	0,0310	0,0320	0,0320	10/03/2017	0,0322	0,0020

Fonte: Autoria própria (2017)

Assim sendo, os limites de controle definidos para a análise gráfica das médias e amplitudes foram calculados de acordo com as equações pré-estabelecidas pelo Manual de MSA 4º Edição (AIAG, 2010). Os valores encontrados para os limites de controle das amplitudes foram calculados conforme as equações (1), (2) e (3) como demonstrado a seguir:

$$\bar{R} = \frac{1}{K} * (R1 + R2 + \dots + Rn) \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{20} * (0,001 + 0,001 + \dots + 0,002)$$

$$\bar{R} = 0,00165$$

$$LICr = D_3 * \bar{R} \quad (2)$$

$$LICr = 0,000 * 0,00165$$

$$LICr = 0,00000$$

$$LSCr = D_4 * \bar{R} \quad (3)$$

$$LSCr = 2,114 * 0,00165$$

$$LSCr = 0,00349$$

Conforme demonstrado nos cálculos, o valor encontrado para a amplitude média resultou em 0,00165 e para os limites de controle superior e inferior os valores encontrados foram 0,00349 e 0,00000 nesta ordem.

Os limites de controle para o gráfico das médias foram estabelecidos conforme as equações (4), (5) e (6) como demonstrado a seguir:

$$\bar{X} = \frac{1}{K} * (\bar{X}1 + \bar{X}2 + \dots + \bar{X}n) \quad (4)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{20} * (0,0324 + 0,0326 + \dots + 0,0322)$$

$$\bar{X} = 0,03233$$

$$LIC\bar{x} = \bar{X} - A_2 * \bar{R} \quad (5)$$

$$LIC\bar{x} = 0,03233 - (0,577 * 0,00165)$$

$$LIC\bar{x} = 0,03137$$

$$LSC\bar{x} = \bar{X} + A_2 * \bar{R} \quad (6)$$

$$LSC\bar{x} = 0,03233 + (0,577 * 0,00165)$$

$$LSC\bar{x} = 0,03328$$

Conforme demonstram os cálculos, o valor para a grande média, ou seja, a média das

médias de cada subgrupo da Tabela 1 resultou em 0,03233 e para os limites superior e inferior de controle das médias os valores encontrados foram 0,03328 e 0,03137 nesta ordem.

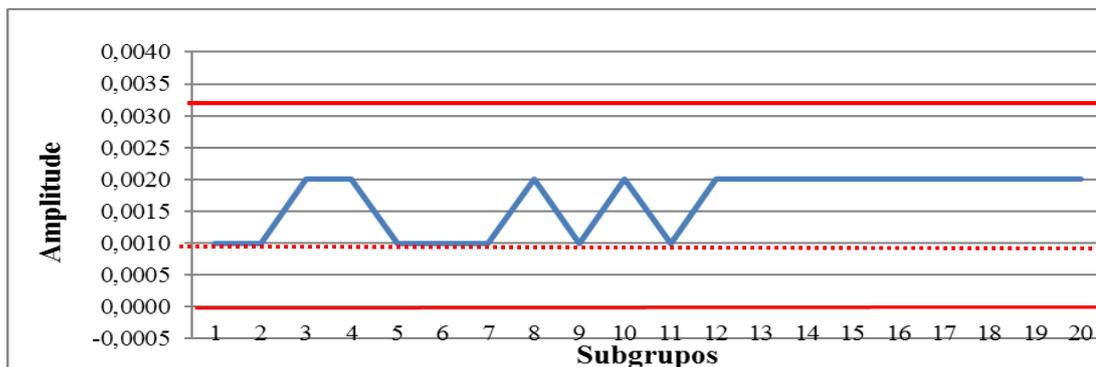
2.2. Análise dos dados

Através dos valores (medições) encontrados na Tabela 1 e com os resultados fornecidos para os limites superior e inferior de controle das médias e das amplitudes de cada subgrupo, foi possível montar dois gráficos sendo um para as análises das amplitudes e o outro para as análises das médias.

Estes gráficos foram construídos basicamente por uma linha principal azul que foi traçada em função dos valores obtidos para cada subgrupo além de duas linhas vermelhas que delimitam os limites de controle superior e inferior e também uma linha vermelha pontilhada que define a faixa de localização do valor da amplitude média para o gráfico de amplitudes e do valor da grande média para o gráfico das médias.

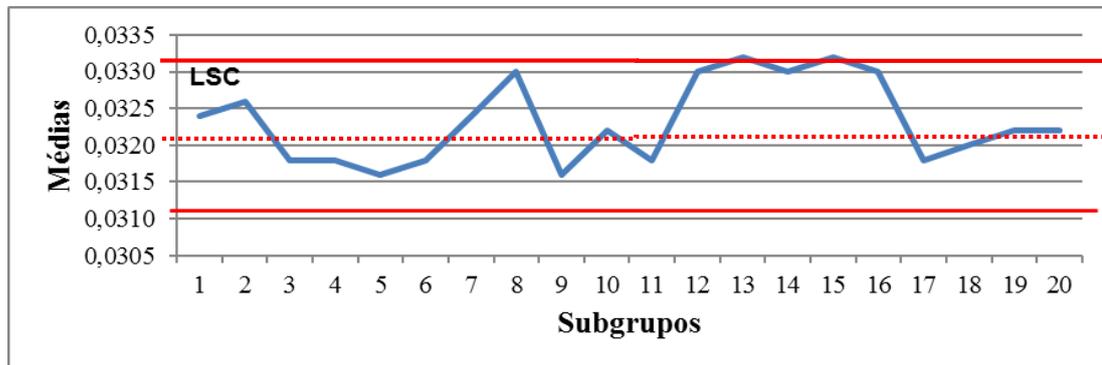
Os gráficos são fundamentais para a interpretação dos resultados conclusivos da análise de estabilidade da máquina de medir por coordenadas além de fornecer dados e informações sobre o comportamento da máquina durante o período de tempo analisado e, através disto, também é possível prever a ocorrência de alguma falha ou variação mais elevada que vêm a ocorrer com o equipamento futuramente. Os gráficos resultantes da análise em questão são os Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Variação das amplitudes dos subgrupos da Tabela 1.



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 2 – Variação das médias dos subgrupos da Tabela 1.



Fonte: Autoria própria (2017)

Conforme demonstrado nos Gráficos 1 e 2, em nenhum dos casos os valores das médias e amplitudes dos 20 subgrupos calculados chegaram a ultrapassar os limites de controle delimitado pelas linhas vermelhas contínuas, ou seja, a linha principal azul traçada em função dos valores encontrados para os subgrupos localiza-se dentro da área delimitada por estas linhas, com isso, pode-se concluir que a estabilidade da máquina de medir por coordenadas é considerada aceitável em um nível de confiança de 95% que, segundo Zar (1984), é o nível de confiança tipicamente estabelecido para pesquisas.

3. Considerações finais.

Através dos resultados encontrados com o estudo, foi possível fazer a análise gráfica das amplitudes e das médias de cada subgrupo da Tabela 1, e verificou-se que a máquina de medir por coordenadas não apresentou variações significativas ou evidências de instabilidade e de erros no decorrer do processo de análise.

Segundo o Manual de MSA 4ª Edição (AIAG, 2010), durante as análises dos gráficos das amplitudes e das médias calculadas para cada subgrupo de medições coletadas para o estudo de estabilidade da MMC, os seus respectivos valores não podem ultrapassar as faixas delimitadas pelos limites de controle superior e inferior que foram calculados tanto para as amplitudes como para as médias e, como foi evidenciado pelos gráficos de amplitude e das médias calculadas durante o estudo, nenhum dos resultados obtidos para cada subgrupo de medições ultrapassou os limites de controle estabelecidos, com isso, foi concluído que a máquina de medir por coordenadas (MMC) apresenta estabilidade considerada aceitável para as medições de planicidade no cabeçote de motor.

As máquinas de medir por coordenadas (MMC's) são empregadas para a realização de diversos tipos de medições como circularidade, cilíndricidade, reticidade, perpendicularidade, batimento radial e batimento circular e diversas outras características dimensionais estabelecidas pelo sistema de toleranciamento GD&T, sendo que, no estudo feito neste artigo, foi escolhida somente uma, que foi a planicidade da face do cabeçote devido esta ser uma das características que mais abrangem as estratégias de medição e de outras vantagens da máquina, além de ser importante na fabricação destes cabeçotes.

Os estudos estatísticos realizados para analisar a variabilidade dos equipamentos de medição não compreendem só as análises de estabilidade, mas também muitos outros, a exemplo das análises de tendência, repetitividade, reprodutibilidade e linearidade. Neste processo de análise foi feita somente a análise da estabilidade da máquina por necessitar de apenas uma amostra que no caso é o cabeçote de motor, sendo que, para a condução dos outros estudos, seriam necessárias mais amostras.

Referências

- AIAG – Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. **Análise dos sistemas de medição – MSA**. 4. Ed. São Paulo: IAQ, 2010.
- ALBERTAZZI, Armando; SOUZA, André Roberto de. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1. Ed. Barueri: MANOLE, 2008.
- BAZILIO, F. S. et al. Estimativa da Incerteza de Medição: Estudo de Caso no Ensaio de Migração de ϵ -caprolactama com determinação por CG-DIC. **Química Nova** 35.8: 1664-667. Web, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n8/v35n8a28.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- BEHAR, Maxim. **A Técnica da Ajustagem: Metrologia – Medição – Roscas – Acabamento**. 1. Ed. São Paulo: HEMUS, 1976.
- CERQUEIRA, Ricardo C. **Gestão Dimensional no Desenvolvimento de Produtos: Uma Aplicação na Indústria Automotiva**. 2011. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Faculdade de Tecnologia Senai-CIMATEC, Salvador, 2012.
- HAMBURG-PIEKAR, Daniel S. **Calibração de Peças Padrão em Máquinas de Medir por Coordenadas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- LIBRANTZ, André F. H.; ARAÚJO, Sidnei A. de; BELAN, Peterson A. Técnicas de visão computacional aplicadas no processo de calibração de instrumentos de medição com display numérico digital sem interface de comunicação de dados. **Revista Exacta**, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81023342008>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- LIRA, Francisco Adval de. **Metrologia na Indústria**. 6. Ed. São Paulo: ÉRICA, 2008.
- LOOSE, Jean-Philippe et al. Integrating GD&T into dimensional variation models for multistage machining processes. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 11, p. 3129-3149, 2010. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.5584&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 out. 2016.

MARSON, Michel D. A evolução da indústria de máquinas e equipamentos no Brasil: Dedini e Romi, entre 1920 e 1960. **Nova Economia**, v. 24, n. 3, p. 685-710, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/neco/v24n3/0103-6351-neco-24-03-00685.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2016.

MENEZES, Felipe M.. **Análise dos Sistemas de Medição**. 2013. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Acao Documento Legislacao/Apostila MSA_PORTUGUÊS.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2016.

POLISTAMPO – Indústria Metalúrgica LTDA. **Laboratórios**. Disponível em: <<http://www.polistampo.com.br/laboratorios.htm>>. Acesso em: 03 out. 2016.

SÁ, Luís A. N. D. de. Estudo da repetitividade na medição por coordenadas 6ª mostra acadêmica unimep, 6., 2008, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/6mostra/1/96.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2016.

SCHNEIDER, Wilhelm. **Desenho Técnico Industrial: Introdução aos fundamentos do desenho técnico industrial**. Traduzido por Guarany Edu. 1. Ed. São Paulo: HEMUS, 2008.S

SENAI. **Dimensionamento e Tolerância geométrica (GD&T)** - SENAI, 2007.

SILVA NETO, João C. da. **Metrologia e Controle Dimensional**. 1. Ed. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2012.

TECFORMA USINAGENS. **Supressão de vistas em peças com forma composta**. Disponível em: <<http://tecformausinagens.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 22 out. 2016.

UMARAS, Eduardo. **Tolerâncias Dimensionais em Conjuntos Mecânicos: Estudo e Proposta para Otimização**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VALDÉS, R. A.; DI GIACOMO, B.; PAZIANI, F. T. Synthesization of thermally induced errors in coordinate measuring machines. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 27, n. 2, p. 170-177, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbsmse/v27n2/25385.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall International.1984. pp. 43 – 45.