

Escolha do equipamento mais adequado para medição de circularidade: um estudo comparativo entre CMM e perfilômetro

Selecting the Most Appropriate Equipment for Circularity Measurement: A Comparative Study Between CMM and Profilometer

Wallyson Thomas Alves da Silva^{1, i}
Marcus Vinicius Begossi^{2, ii}

RESUMO

Recentemente, grandes empresas passaram a utilizar máquinas de medição por coordenadas (CMM – Coordinate Measuring Machines) para determinar, com maior precisão, as tolerâncias geométricas e dimensionais de peças produzidas.

Entretanto, foi identificado um problema na verificação da circularidade e cilindricidade de peças medidas com diferentes metodologias e equipamentos (tridimensional e perfilômetro), os quais possuem propriedades distintas. Durante a análise, utilizamos ambos os métodos de medição.

O primeiro equipamento, a máquina tridimensional, apresentou uma precisão não ideal, devido à sua resolução não ser a mais apropriada para esse tipo de medição. Além disso, ela não calcula toda a circunferência da peça, pois realiza medições por pontos.

Já o segundo equipamento, o perfilômetro, demonstrou maior precisão nas medições, pois calcula todo o perfil da peça e permite uma análise mais detalhada dos desvios de circularidade, cilindricidade e batimento.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é medir e comparar peças cilíndricas utilizando esses dois equipamentos com alta capacidade de medição geométrica. Buscamos destacar os pontos positivos e negativos de cada máquina que possam influenciar nos resultados, a fim de definir qual é o equipamento mais adequado para esse tipo de análise.

Após a configuração e o uso dos dois equipamentos, observamos que, conforme as medidas e tolerâncias especificadas no desenho técnico, o perfilômetro apresentou resultados mais precisos. Isso se deve à sua resolução superior de 1,18 µm, em comparação com os 1,7 µm da máquina tridimensional (dados conforme especificações dos fabricantes). Além disso, o perfilômetro realiza a leitura contínua do perfil, enquanto a CMM opera por amostragem de pontos.

Com isso, concluímos que a confiabilidade das medições feitas com o perfilômetro é superior, garantindo melhor controle da geometria das peças e maior precisão dimensional.

Palavras-chave: Tridimensional, Perfilometro, Cilindricidade, Circularidade.

¹ Professor Adjunto II - Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: wallyson.silva@sp.senai.br

² Coordenador de Atividades Técnicas. Faculdade SENAI "Roberto Mange". E-mail: mbegossi@sp.senai.br

ABSTRACT

Recently, in large companies, coordinate measuring machines (CMMs) are used to determine the geometric and dimensional tolerances of manufactured parts with greater precision. We encountered an issue when verifying roundness and cylindricity in parts measured using different methodologies and measuring machines (a CMM and a profilometer), which have different characteristics and measurement approaches.

With the first piece of equipment—the coordinate measuring machine—the measured precision was not ideal, due to its resolution not being optimal for this type of measurement and because it does not capture the entire circumference of the part. With the second piece of equipment—the profilometer—we can obtain greater measurement precision, since it measures the entire surface profile and analyzes deviations in roundness, cylindricity, and runout.

Therefore, the objective of this research is to measure and compare cylindrical parts using two machines with high-capacity geometric measurement capabilities, highlighting both the advantages and disadvantages of each equipment that may influence the measurements, and determining which is the better option for these parts.

After setting up these machines and comparing results based on the specifications and tolerances on the drawing, we observed that, to obtain a more precise measurement, the profilometer is the most suitable equipment. Its measurement range is much more accurate than that of the CMM, with a resolution of 1.18 μm versus 1.7 μm (specifications found on the manufacturer's website), and the CMM measures discrete points rather than a continuous profile. As a result, the reliability of the measurements with this equipment is higher, thereby ensuring the ideal geometry of the part.

Keywords: Three-dimensional, Profilometer, Cylindricity, Circularity.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como finalidade verificar qual é o melhor equipamento de medição para uma peça cilíndrica, utilizando equipamentos como o Perfilômetro e máquina tridimensional. Com esse tema temos vários tipos de erros geométricos, como a circularidade que é a condição pela qual qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida, por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada, também como a cilíndricidade definido como a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais.

Esta medição consiste em garantir uma precisão exata em uma peça, evitando erros de medição na fabricação de peças cilíndricas.

O erro de tolerância pode influenciar na fabricação de peças cilíndricas e também em sua circularidade e cilíndricidade.

Sendo assim, é essencial que façamos o controle deste procedimento durante a fabricação.

Ao decorrer deste trabalho, iremos detalhar os procedimentos e as especificações que adotamos para fazer esta medição entre os dois equipamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Máquinas por medição de coordenadas

A máquina por medição por coordenadas usa o sistema cartesiano, utilizando pontos (coordenadas x , y , z). A partir dessas informações obtidas por um software o equipamento consegue calcular a geometria do objeto. As MMC existentes possuem distintas formas e configurações, de acordo com as peças a serem medidas, um exemplo disso é o perfilômetro de forma circular que, calcula geralmente cilindricidade, circularidade e batimento. As máquinas que usam o sistema de coordenadas melhoraram muito o sistema de medição, facilitando as indústrias pelo seu meio prático e rápido, eliminando os meios mais convencionais e imprecisos utilizados.

As máquinas detêm diversos dispositivos que fazem a medição, um dos principais é o apalpador, peça essencial para medir a peça, geralmente de diamante o apalpador serve para tocar na peça e definir geralmente acoplado ao software as dimensões e erros geométricos da mesma.

Ele pode ficar fixo enquanto a peça posicionada em uma placa se movimenta como no caso do perfilômetro ou ele se movimenta, um exemplo é a máquina tridimensional.

2.2 Tridimensional

Tridimensional é um equipamento de medição muito avançado que consiste de uma base de referência totalmente plana, no qual utiliza eixos x , y , z onde em seu eixo inferior z contém um sensor mecânico eletrônico ou óptico, que entrará em contato com a peça que será medida. Os tipos de sensores apresentados são geralmente:

- **Mecânicos:** São sensores rígidos, com grande precisão geométrica e geralmente de diversos formatos como cônicos, esféricos ou cilíndricos, geralmente com elevado custo. Eles tocam na face da peça que será medida com uma pressão pequena, gerando uma leitura digital.
- **Sensores eletrônicos:** São sensores que se dispõem de equipamento ligado eletronicamente aos contadores digitais. Geralmente o sensor é muito frágil e sensível, porém mantém grande precisão para a medição da peça.
- **Sensores ópticos:** Quando a peça a ser medida tem as características muito pequenas, no qual dificulta a utilização de sensores mais comuns, a medição pode ser auxiliada por um microscópio.

2.3 Perfilômetro de forma circular

Um perfilômetro é um equipamento que mede o perfil da superfície de uma peça circular ou cilíndrica, o contato e o deslizamento de uma ponta com sensor mecânico (geralmente de diamante), eletrônico ou óptico determina geralmente a circularidade, batimento e a cilindricidade.

O perfilômetro é muito indicado para peças de forma cilíndrica ou circular por ele medir com precisão o total perfil dela, encontrando diversos tipos de erros geométricos.

2.4 Erros de medição

O elemento mais crítico do sistema é o apalpador. Pode ter diversos erros geométricos que ocorrem em sua fabricação ou o seu uso que pode gerar desgaste

dependendo do seu material.

As MMC podem também apresentar também erros de medição, um deles é o erro de translação — ocorrem na direção transversal ao movimento e na direção paralela ao movimento (erros de escala). Os erros de rotação, também provocados pelos erros de empenamento das guias. Outros erros de medição podem até mesmo ser desenvolvidos pelo clima no qual se usa para medir, fazendo com que as peças e o apalpador se dilatam, interferindo a precisão do equipamento. Causas que geram erros que geralmente são encontrados em máquina tridimensional:

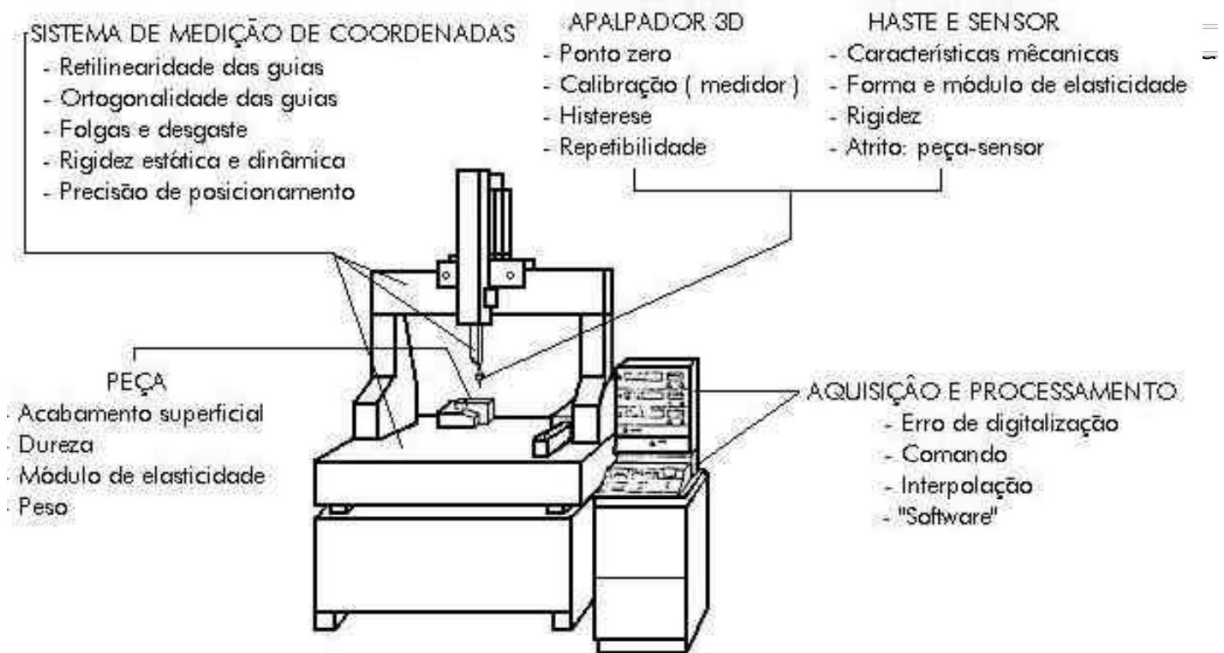


Figura 1: Erros mais comuns em tridimensionais (Joinville,2017).

3 METODOLOGIA

3.1 Para aferir as medidas das peças utilizamos o Perfilômetro Talyrond 130 que tem as seguintes características:

- Alcance de 2mm;
- Calibração rápida e precisa;
- Resolução normal de 1.18µm;
- Alta Resolução de 6 nm quando usado equipamentos com desvio de menos de 0,40mm.

O erro de circularidade foi medido numa placa com três castanhas que foi desenvolvida para atender as necessidades de medição, as castanhas têm regulagem x e y para posicionar a peça em seu centro e uma régua que permite colocar o apalpador em seu eixo z.

3.2 Usamos as seguintes etapas:

- Posicionamos a peça sobre a placa e fechamos as castanhas com uma leve pressão;

- Centramos a peça e tiramos a sua referência;
- Iniciamos o processo de medição com uma pressão sobre a peça de 0.5 n.

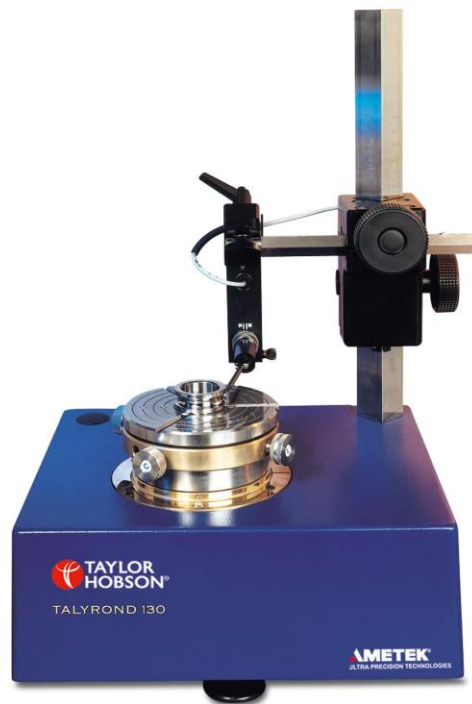


Figura 2: Foto do Perfilômetro Talyrond 130 (Taylor-hobson,2017).

3.3 Para aferir as medidas das peças foi utilizado a Tridimensional crista apex c 574 com as seguintes características:

- Velocidade máxima entre eixos 520 mm/s;
- Garantia de precisão de 1.7 μm ;
- Sistema integrado para controlar a temperatura, e trabalhar entre 16 a 26 °C;
- Auto ajuste dos eixos;
- Equipamento com grande controle de vibrações;
- Software de ultra capacidade.

As peças foram medidas na tridimensional, sendo posicionadas sobre a mesa e fixadas para que as peças não se desloquem no momento em que a ponteira entra em contato com elas.

3.4 Usamos as seguintes etapas:

- Os parâmetros foram configurados com 4 pontos para checar o plano, e 6 pontos para encontrar a peça cilíndrica;
- Após esta configuração foram definidos 40 pontos para a medição de circularidade e cilindridade da peça (4 camadas com 10 pontos cada).



Figura 3: Foto da Tridimensional crysta apex c 574 (mitutoyo,2017)

4 RESULTADOS

4.1 Perfilômetro Talyrond 130

A máquina apresentou os seguintes relatórios:

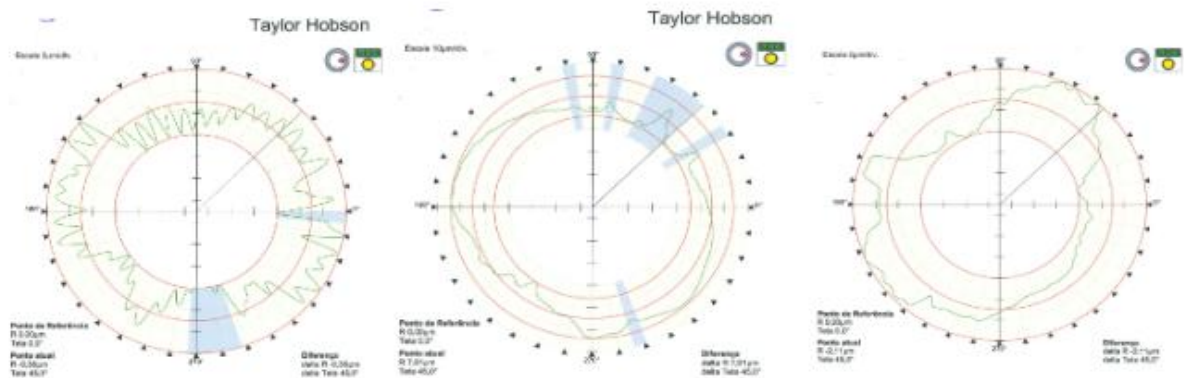


TABELA COM ERROS DE CILINDRICIDADE DAS PEÇAS					
PEÇA 1					
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Resultado Final
ERRO DE CILINDRICIDADE	55 µm	63 µm	145 µm	162 µm	106,25 µm
PEÇA 2					
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Resultado Final
ERRO DE CILINDRICIDADE	71 µm	38 µm	52 µm	40 µm	50,25 µm
PEÇA 3					
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Medição 4	Resultado Final
ERRO DE CILINDRICIDADE	90 µm	82 µm	78 µm	85 µm	83,75 µm
TABELA COM ERROS DE CIRCULARIDADE					
	CIRCULARIDADE	BATIMENTO			
PEÇA 1	5,95µm	6,18µm			
PEÇA 2	5,94µm	8,55µm			
PEÇA 3	17,93µm	35,62µm			

4.2 Tridimensional CRYSTA APEX C 574

A máquina apresentou os seguintes relatórios:

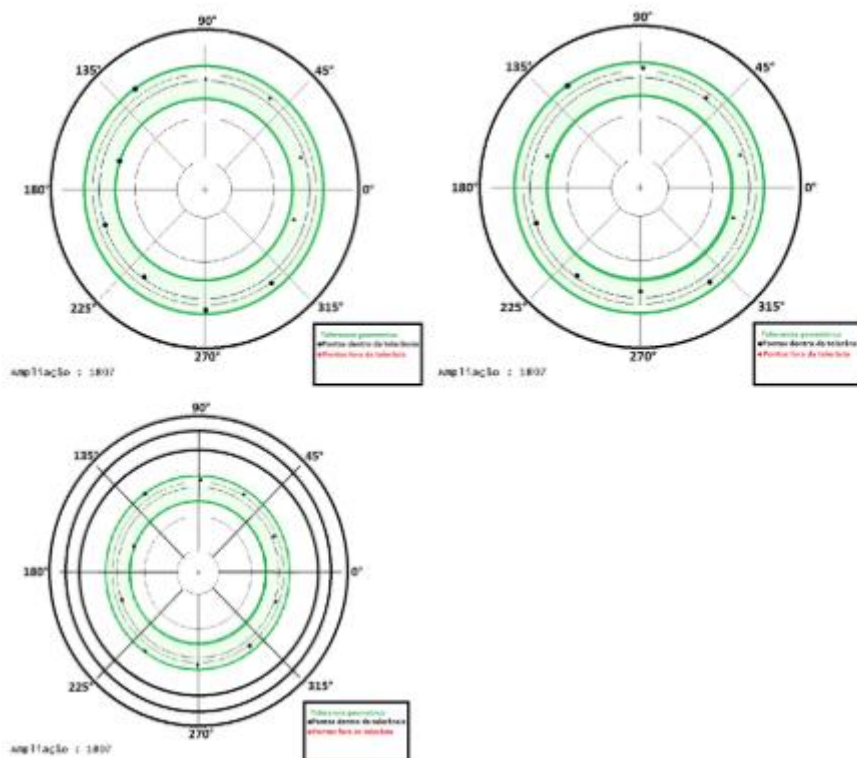


Tabela com erro de Cilindricidade		Tabela com erro de Circularidade	
Peça 1	144 µm	Peça 1	150 µms
Peça 2	87 µm	Peça 2	433 µm
Peça 3	178 µm	Peça 3	191 µm

4.3 Comparação de resultados

Comparando os resultados obtidos nas tabelas do perfilômetro (item 4.1) e na tabela tridimensional (item 4.2) identificamos os seguintes resultados mostrados abaixo:

Cilindricidade tridimensional		Cilindricidade Perfilômetro	Diferença entre cilindricidade
Peça 1	144 μm	106,25 μm	37,75 μm
Peça 2	87 μm	50,25 μm	36,75 μm
Peça 3	178 μm	83,75 μm	94,25 μm
Circularidade		Circularidade	Diferença entre circularidade
Peça 1	150 μm	5,95 μm	144,05 μm
Peça 2	433 μm	5,94 μm	427,06 μm
Peça 3	191 μm	17,93 μm	173,07 μm

Contudo podemos afirmar que as características do perfilômetro são superiores a tridimensional em uma peça de formato cilíndrico, os resultados obtidos pelo primeiro equipamento demonstram medidas mais precisas e confiáveis, tendo como ênfase o total perfil analisado por uma ponta apalpadora que percorre a peça, diferente da tridimensional que mostram apenas o cálculo entre pontos do mensurado.

5 CONCLUSÃO

Após todos os testes realizados nos equipamentos perfilômetro e máquina tridimensional, comparamos os resultados obtidos e verificamos que o primeiro equipamento demonstrou melhor precisão 1.18 μm contra 1.7 μm (informações contidas nos sites dos fabricantes). Para o modelo de peça cilíndrica o Perfilômetro consegue medir o total perfil dela, diferente da tridimensional que calcula a peça sobre pontos, onde pode existir um grande erro geométrico em um local que simplesmente não é detectado, pois não há contato.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao líder da preparação EV6 Charles Juan de Oliveira, a empresa BOSCH, também ao Professor Wallyson Thomas e a escola Senai “Roberto Mange”

REFERÊNCIAS

Acessado em 2/5/2017 PUC-RIO, https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/16694/16694_3.PDF

Acessado em 5/5/2017

<http://www.clubedaeletronica.com.br/Mecanica/Metrologia%20TC-2000/metr23.pdf>

Acessado em 5/5/2017 <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~furio/IE607A/Perfilom.pdf>

Acessado em 4/6/2017 <http://www.taylor-hobson.com/products/20/108.html>

Acessado em 3/5/2017 <http://www.mitutoyo.com.br>

Acessado em 5/5/2017

www.joinville.udesc.br/portal/professores/veriano/materiais/09_Maquinamedircoordenadas.pdf

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

Sobre os autores:

i Wallyson Thomas Alves da Silva (Autor 1)



Possui Pós-doutorado em Engenharia Mecânica no Karlsruhe Institute of technology (KIT) na Alemanha em 2025. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Usinagem dos metais. É Professor Adjunto II da Escola e Faculdade SENAI “Roberto Mange” em Campinas - SP.

ii Marcus Vinicius Begossi (Autor 2)



Possui graduação em Ciência da Computação pela Faculdade Anhanguera (2000), Especialização em MBA em Gestão de projetos pela ela Faculdade Anhanguera (2009) e Mestrado (2015) em Engenharia da Produção pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Atualmente é Coordenador Técnico da Faculdade de Tecnologia SENAI "Roberto Mange". Tem experiência na área de Automação, com ênfase em Gestão de projetos.