

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA PONTA DO APALPADOR NA RUGOSIDADE Ra, Rq, Rv, Rz, Rt, Rp, Rsk e Rku

Walter dos Santos Motta Neto, Universidade Federal de Uberlândia, waltermottaneto@hotmail.com

Rosenda Valdés Arencibia, Universidade Federal de Uberlândia, rosenda.arencibia@ufu.br

Luciano José Arantes, Universidade Federal de Uberlândia, ljarantes@femec.ufu.com

Resumo: Dentre as diversas fontes de erro na medição com contato da rugosidade, uma atenção especial deve ser dada à dimensão da ponta do apalpador. Ela interfere diretamente no perfil efetivo da rugosidade, a partir do qual são determinados os parâmetros e curvas utilizadas na caracterização de uma determinada superfície. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito das dimensões da ponta do apalpador do rugosímetro, durante o controle geométrico de peças usinadas, nos valores dos parâmetros de rugosidade Ra, Rq, Rv, Rz, Rt, Rp, Rsk e Rku. Para tanto, um planejamento fatorial completo foi proposto para investigar o efeito das seguintes variáveis: material da peça, processo de usinagem, avanço e profundidade de corte. Desta forma, foram avaliadas amostras de alumínio, aço carbono e ferro fundido, obtidas pelos processos de torneamento e fresamento, usando diferentes regimes de corte. Os parâmetros de rugosidade foram obtidos através da medição da superfície das peças por meio de um rugosímetro eletromecânico utilizando duas pontas de diamante com raios de 2 μm e 5 μm . Já a incerteza de medição foi estimada utilizando o método GUM. Objetiva-se, com o presente trabalho, contribuir para a diminuição dos erros usualmente presentes nas medições efetuadas com o rugosímetro eletromecânico, estruturando orientações aos usuários deste tipo de equipamento sobre qual apalpador deve ser usado em função da aplicação pretendida.

Palavras-chave: medição com contato, parâmetros de rugosidade, incerteza de medição

1. INTRODUÇÃO

Pode-se enfatizar que uma operação realizada através dos processos de fabricação mecânica fundamentalmente objetiva produzir componentes intercambiáveis. O sistema de peças intercambiáveis, bem interpretado, aumenta a qualidade dos produtos e reduz os custos (Agostinho et al., 1977). A contínua diminuição nos limites das tolerâncias dimensionais e de forma, aliada às exigências técnicas funcionais cada vez maiores, têm levado os projetistas a utilizarem e aplicarem, com maior intensidade, conceitos e normas técnicas associados à tecnologia de superfícies em seus respectivos estudos e trabalhos.

As superfícies, ainda que rigorosamente trabalhadas, apresentam desvios de forma macrogeométricos e microgeométricos. No primeiro caso, incluem-se as divergências de ondulações, a retitude, a planeza e a circularidade. Já os desvios microgeométricos, conhecidos também como rugosidade, surgem em função do processo de fabricação das peças, afetando e definindo o modo como as superfícies irão trabalhar e interagir entre si (Marco Filho, 1996). Os desvios macro e microgeométricos apresentam-se superpostos na superfície real da peça, conforme indicado na Fig. (1). Observa-se que os sinais de rugosidade apresentam maiores frequências e menores amplitudes quando comparados com os desvios macrogeométricos e as ondulações.



Figura 1: Desvios macrogeométricos e microgeométricos (Taylor Hobson, com modificações, 2003).

Segundo Agostinho, Rodrigues e Lirani (1977), a rugosidade é a soma das diferenças de forma de 3ª a 5ª ordens resultantes da ação inerente ao processo de usinagem. Essas diferenças de forma são diferenças que se repetem, regular

ou irregularmente, e cujas distâncias são um múltiplo reduzido de sua profundidade. Todavia, salienta-se que este conceito pode ser visto de forma mais genérica, não apenas sendo inerente ao processo de usinagem.

A qualidade do acabamento superficial de peças fabricadas pode ser avaliada através da medida da rugosidade. Os parâmetros de rugosidade existentes são valores numéricos resultantes de integrações ou de operações matemáticas simples de perfis amostrais de superfícies. A medição da rugosidade é usualmente efetuada usando métodos de medição com contato (Chand et al, 2011; Bhushan, 2002; Leach, 2001). Isso é feito através do uso de um instrumento de medição, denominado rugosímetro, no qual uma ponta de medição entra em contato físico com a superfície avaliada. Destaca-se que dentre as limitações da medição da rugosidade com contato está a impossibilidade de obter o perfil real. Esse fato ocorre devido às dimensões da ponta do apalpador, como pode ser visualizado na Fig. (2). Por menor que seja o raio da ponta do apalpador, o mesmo não pode reconhecer as irregularidades da superfície que forem menores do que o seu raio. Sendo assim, sempre ocorre uma distorção entre os perfis reais e efetivos.

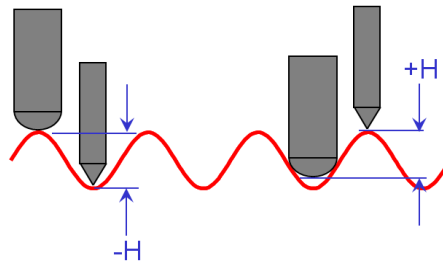


Figura 2: Influência das dimensões da ponta do apalpador na obtenção do perfil de rugosidade (Taylor Hobson, 2003).

Ressalta-se outra limitação nesse tipo de medição. Uma ponta de apalpador muito fina, mesmo sob cargas baixas, poderá resultar em uma área de contato pequena, em que a pressão local pode ser alta o suficiente para causar a deformação elástica da superfície de medição (Chand et al, 2011; Vorburger et al, 2007).

No contexto anteriormente descrito, surgiu a proposta deste trabalho. Investigar o efeito das dimensões da ponta do apalpador do rugosímetro nos valores dos parâmetros de rugosidade (R_a , R_q , R_v , R_p , R_z , R_t , R_{sk} e R_{ku}). Para o desenvolvimento do trabalho foram fabricadas amostras de diferentes materiais (alumínio, ferro fundido e aço carbono 1020), por processos de usinagem convencional (torneamento e fresamento), utilizando diferentes regimes de corte.

2. METODOLOGIA

Uma vez obtidos os corpos de prova, para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil Surtronic 3+, eletromecânico, digital, do fabricante Taylor Hobson, modelo 112/1590, Fig. (3). Este equipamento possui resolução de $0,01 \mu\text{m}$. Utilizaram-se dois apalpadores com ponta de diamante durante a medição, um com raio igual a $2 \mu\text{m}$ e outro de $5 \mu\text{m}$. O comprimento de amostragem (*cut-off*) selecionado para cada medição foi definido de acordo com a NBR ISO 4288 (ABNT, 2008) e foi utilizado o filtro Gaussiano para a retirada das ondulações do perfil.



Figura 3: Rugosímetro portátil Surtronic 3+ da Taylor Hobson.

O certificado de calibração do rugosímetro declara uma incerteza expandida associada à calibração de $0,02 \mu\text{m}$ para k igual a 2,23 e probabilidade de abrangência de 95%.

Para a obtenção das amostras, com valores de rugosidade diferentes, foi proposto um planejamento fatorial completo $3 \times 2 \times 2 \times 2$, em que quatro fatores (variáveis) foram avaliados, um em três níveis e os outros três em dois níveis. A Tab. (1) mostra a matriz de planejamento dos ensaios, estando em conformidade com os 24 experimentos que foram

executados. Para cada teste foram feitas três repetições. A variável material considera: alumínio (-1), ferro fundido (0) e aço carbono 1020 (1). Além disso, com relação à variável processo de usinagem, foram adotados: torneamento (-1) e fresamento (1). Os valores nos quais a variável avanço foi estimada, em mm/rotação, são: (-1) 0,1 e (1) 0,2. Por sua vez, os valores nos quais a variável profundidade de corte foi avaliada, em mm, são: (-1) 0,5 e (1) 1.

Tabela 1: Matriz de planejamento de experimento fatorial completo 3x2x2x2.

TESTE	Material (1)	Processo (2)	Avanço (3)	Profundidade (4)
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	1
5	-1	1	-1	-1
6	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1
8	-1	1	1	1
9	0	-1	-1	-1
10	0	-1	-1	1
11	0	-1	1	-1
12	0	-1	1	1
13	0	1	-1	-1
14	0	1	-1	1
15	0	1	1	-1
16	0	1	1	1
17	1	-1	-1	-1
18	1	-1	-1	1
19	1	-1	1	-1
20	1	-1	1	1
21	1	1	-1	-1
22	1	1	-1	1
23	1	1	1	-1
24	1	1	1	1

A rugosidade das amostras foi medida cinco vezes. O rugosímetro e a peça objeto de medição foram posicionados em um desempenho de granito, de modo a minimizar o efeito da vibração mecânica transmitida pelo solo. A rugosidade foi analisada a partir dos valores dos seguintes parâmetros: R_a (Desvio Aritmético Médio do Perfil), R_q (Desvio Médio Quadrático do Perfil), R_p (Altura Máxima do pico do Perfil), R_t (Altura Total do Perfil), R_v (Profundidade Máxima do vale do Perfil), R_z (Altura Máxima do Perfil), R_{sk} (Fator de Assimetria do Perfil - *Skewness*) e R_{ku} (Fator de Achatamento - *Kurtosis*).

Todas as medições foram conduzidas à temperatura ambiente controlada de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. Um termo-higrômetro digital com resolução de $0,1^\circ\text{C}$ e faixa nominal de $(-20 \text{ a } 60)^\circ\text{C}$ foi utilizado para medição da temperatura. Este equipamento possui uma incerteza expandida para a temperatura de $0,3^\circ\text{C}$ para k igual a 2,00 e infinitos graus de liberdade.

Integralizando a metodologia analítica, os dados recorrentes do planejamento fatorial foram analisados através de uma análise de variância ANOVA, por meio do *software* Statistica 7.0. Buscou-se analisar e demonstrar se os valores médios de rugosidade obtidos a partir das diferentes amostras e com pontas de raio de $2\text{ }\mu\text{m}$ e $5\text{ }\mu\text{m}$ são diferentes. Para avaliar a normalidade dos valores dos diversos mensurandos foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk. Isto se justifica para a definição de qual metodologia de cálculo de incerteza de medição deve ser utilizada, de modo a contribuir para a rastreabilidade do resultado. Caso os dados sejam normais, há a possibilidade de se aplicar o método proposto no GUM (Inmetro, 2008), via Eq. (1).

$$R_{Rug} = L_{Rug} + \Delta R_{Rug} + \Delta IC_{Rug} + \Delta A_R + \Delta D \quad (1)$$

Em que: R_{Rug} - parâmetro de rugosidade medido;

L_{Rug} - média dos valores indicados pelo rugosímetro;

ΔR_{Rug} - correção associada à resolução do rugosímetro;

ΔIC_{Rug} - correção associada à incerteza de calibração do rugosímetro;

ΔA_R - correção associada ao raio da ponta do apalpador;

ΔD - correção associada à deformação do material durante a medição.

3. CONCLUSÕES

Considerando que embora as fontes de erro na medição com contato da rugosidade sejam amplamente comentadas na literatura, não existem ainda muitos trabalhos técnicos abordando este assunto. Dependendo das tolerâncias de rugosidade e da aplicação da peça, pode-se chegar à conclusão de que o método de medição por contato não seja o mais adequado. Portanto, entende-se que a avaliação dessas fontes, por meio da variação de diferentes parâmetros de fabricação, poderá constituir em uma interessante contribuição científica para a área de metrologia.

Espera-se, à medida que se processe o desenvolvimento desse trabalho, que possa ser aprofundado o estudo sobre os instrumentos de medição com contato da rugosidade. Explorando mais amplamente a relação dos parâmetros de rugosidade com a área de usinagem.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica e às instituições CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 4288, “Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil-regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”. 2008. 10p.
- Agostinho, O. L., Rodrigues, A. C. S. e Lirani, J., “Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões”. Edgard Blücher, 1977. 295p.
- Bhushan, B., “Modern Tribology Handbook, Volume One. Chapter 2 Surface roughness analysis and measurement techniques”, 2002. Pp. 49-120.
- Chand, M., Mehta, A., Sharma, R., Ojha, V.N. e Chaudhary, K.P., “Roughness Measurement Using Optical Profiler with Self-Reference Laser and Stylus Instrument — A Comparative Study”. Indian Journal of Pure & Applied Physics, 2011. V. 49 (May): 335–339.
- Hobson, T., “Surface Finish Metrology”. 2003, 329 slides.
- Inmetro, “A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo”. Inmetro-Dimci-Dimec-Lapre Inmetro, 2008. Nota técnica, 34p.
- Leach, R., “The measurement of surface texture using stylus instruments”. Measurement Good Practice Guide No. 37 National Physical Laboratory Teddington, Middlesex, United Kingdom, 2001, 97 p.
- Marco Filho, F., “Apostila de metrologia”. Rio de Janeiro: UFRJ, Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Docente/SR-1, 1996, 106 p. – (Cadernos Didáticos UFRJ; 29).
- Vorbuerger, T.V., Rhee, H.G., Renegar, T.B., Song, J.F. e Zheng, A., “Comparison of Optical and Stylus Methods for Measurement of Surface Texture”. International Journal Advances Manufacturing Technology 33: 100, 2007.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.