

Fontes de Erro na medição da Rugosidade

Jefferson Dobes

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, jdobes@mecanica.ufu.br

José Eduardo Silveira Leal

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, zeduardoleal@yahoo.com.br

Faculty Mentor:

Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, arvaldes@mecanica.ufu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo investigar as principais fontes de erro da medição da rugosidade, sendo: posicionamento incorreto do apalpador, raio da ponta, deformações da peça e vibração. Para tanto, foram realizadas medições com e sem contato (rugosímetro eletromecânico e interferômetro com luz branca) em três peças, um de pistão de ferro carbono sinterizado, uma de alumínio e uma peça de aço inox. Observou-se que o método de medição com contato apresenta limitações devido à instabilidade do contato agulha-peça e que a agulha não pode acessar os vales mais estreitos, levando à diminuição dos valores de rugosidade quando comparados com a medição sem contato. Além disso, foi constatado que para uma frequência constante (60 Hz, 80 Hz ou 100 Hz), o aumento da aceleração levou ao incremento da amplitude da vibração e consequentemente provocou variações nos valores médios de rugosidade.

Palavras-chave: Medição da rugosidade, erros de medição, vibração

ABSTRACT

This work aims to investigate the main sources of error in measuring roughness, they are: incorrect positioning of the probe tip radius, the piece deformation and vibration. To do so, contact and non-contact measurements (electromechanical roughness tester and white light interferometer) were made in three pieces, a sintered iron piston, a piece of aluminum and a piece of stainless steel. It was observed that the measurement method of contact presents limitations due to needle-piece contact instability in some situations and that the needle can not access the narrower valleys, teaking it to lower roughness values when compared with the non-contact measurement. Furthermore, it was found the increase of acceleration, for a constant frequency (60 Hz, 80 Hz or 100 Hz), has led to the increase the vibration amplitude and consequently caused variations in the average values of roughness.

Keywords: Roughness measurement, measurement errors, vibration

1. INTRODUÇÃO

Toda operação realizada através dos processos de fabricação mecânica tem como objetivo principal produzir componentes intercambiáveis com o máximo de funcionalidade a custo conveniente. Isto significa que cada peça ou conjunto de um produto final deve ser produzido de acordo com as especificações definidas quanto a dimensões, forma e acabamento superficial. Entretanto, mesmo com os avanços tecnológicos alcançados nas últimas décadas esse objetivo é impossível de ser atingido. A superfície de uma peça apresentará sempre os chamados desvios macro e microgeométricos decorrentes dos processos de fabricação (Drozda, Wick, 1983; Shaw, 1984).

Dentre os desvios de forma macrogeométricos têm-se ondulações, ovalização, retitude, circularidade, planeza, entre outros, que podem ser verificados através de instrumentos convencionais (Jang *et al.*, 1996). Já os desvios microgeométricos, conhecidos como rugosidade superficial, são pequenas saliências e reentrâncias presentes na superfície da peça (Piratelli-Filho, 2011) e podem ser medidos apenas com aparelhos específicos, desenvolvidos para esta finalidade. Sendo que o rugosímetro eletromecânico é o mais utilizado (Novaski, 1994).

A importância do estudo do acabamento superficial aumenta na medida em que cresce a precisão de ajuste entre peças a serem acopladas, onde somente as tolerâncias dimensionais, de forma e de posição não são suficientes para garantir a funcionalidade do par acoplado. Assim, a especificação do acabamento das superfícies através da rugosidade é fundamental para peças onde houver atrito, desgaste, corrosão, resistência à fadiga, transmissão de calor, propriedades óticas, escoamento de fluidos, superfícies de medição, etc. (Agostinho; Rodrigues; Lirani, 1977; Bushan, 1996).

Devido ao seu caráter micro-geométrico a medição da rugosidade requer o uso de equipamentos especificamente desenvolvidos para esse fim, sendo que a medição pode ser efetuada com contato ou sem contato. Na medição com contato um apalpador (Fig. 1) entra em contato físico com a superfície a ser medida e um transdutor piezoelétrico ou indutivo converte o movimento vertical, num sinal elétrico (Leach, 2001). A agulha do rugosímetro é fabricada de diamante sintético, por ser um material duro e resistente. A geometria da ponta pode ser cone-esférica ou pirâmide truncada.

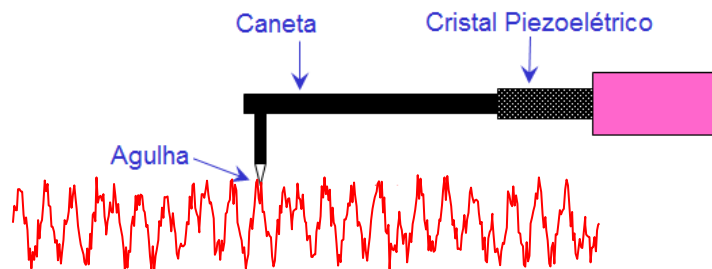


Figura 1: Componentes da transdução de sinal (Taylor Hobson, 2003)

A medição com contato da rugosidade é a técnica mais utilizada para caracterização de superfície (Haitjema; Morel, 1998; Leach, 2001). Dentre as fontes de erros neste tipo de medição tem-se: dimensões e geometria da ponta, deformação da peça devido à força de medição, direção de apalpamento, condições ambientais, características do filtro e a incerteza associada à calibração do rugosímetro.

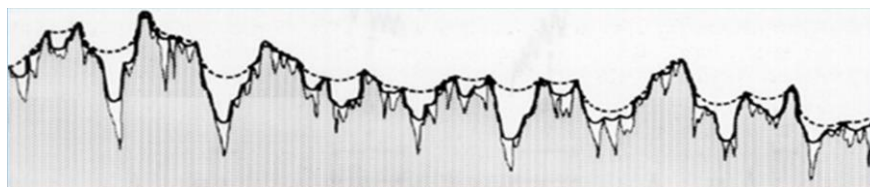


Figura 2: Influência das dimensões da ponta da agulha na obtenção do perfil de rugosidade

Dimensões e geometria da ponta: Durante a medição da rugosidade com contato resulta impossível obter-se o perfil real devido a que o raio de curvatura dos picos pode ser aumentado e os vales podem não ser detectados (Bhushan, 2002). A Figura 2 evidencia como as dimensões e a geometria da ponta da agulha interferem na obtenção do perfil de rugosidade. Observa-se que o acesso aos vales do perfil é bastante limitado para a agulha que possui raio de ponta maior. Assim sendo o perfil efetivo obtido com a agulha maior estará mais distante do perfil real que aquele obtido com uma agulha de raio menor. Segundo Chand *et al.* (2011), o raio da ponta contribui para a incerteza de medição e podem ser atribuídas a ele as diferenças encontradas entre os resultados das medições da rugosidade com e sem contato.

Deformação da peça devido à força de medição: A agulha de medição com ponta fina, mesmo sob cargas baixas resulta em uma área de contato tão pequena que a pressão local pode ser suficientemente elevada para provocar uma deformação elástica significativa da superfície medida. Em alguns casos a pressão local pode exceder a dureza do material provocando uma deformação plástica. Para materiais dúcteis como alguns aços, prata, ouro, chumbo e elastômeros podem ser observados riscos na superfície após a medição (Poon, Bhushan, 1995; Bushan, 2002). Desta forma as dimensões e a geometria da ponta da agulha devem ser escolhidas adequadamente. A forma ideal da ponta é um cone com a ponta esférica (forma conesférica). O tipo esférico tem geralmente um ângulo de cone de 60° ou 90° com um raio típico de 1, 2, 5 ou 10 µm (Leach, 2001).

Com relação à força de medição tem-se que quando esta for muito baixa a ponta da agulha pode não manter o contato com a superfície da peça durante todo o percurso de medição, fornecendo informações incorretas sobre a micro-rugosidade da superfície (Leach, 2001). Este fato depende da geometria da superfície, da constante da mola utilizada e da velocidade de movimentação da agulha. A força de medição estática da ponta, geralmente é definida pelo fabricante, e assume 0,75 mN, de acordo com a ABNT NBR ISO 3274 (2008).

Direção de apalpamento: Um aspecto que merece destaque durante a medição da rugosidade é a direção de apalpamento. Esta deve ser definida de acordo com a orientação dos sulcos ou marcas presentes na superfície da peça. Quando a superfície apresentar sulcos nítidos e com uma orientação definida, a direção escolhida deve ser perpendicular a estes. Deve-se evitar que a agulha passe por defeitos de pequena escala, como riscos e poros, pois estes não fazem parte do perfil da superfície como um todo. Para aqueles casos em que os sulcos ou marcas não sejam visíveis ou não apresentem uma orientação definida a direção de apalpamento pode ser arbitrária. Segundo Leach (2001) neste caso devem ser efetuadas medições em várias direções, e aceitar o valor máximo como sendo o valor de rugosidade.

As condições nominais para medir a rugosidade superficial utilizando instrumentos com apalpamento são especificadas na ABNT NBR ISO 3274 (2008). Desvios destas condições nominais conduzem a desvios significativos dos valores dos parâmetros de rugosidade (Zahwi *et al.*, 2003).

Condições ambientais: A medição da rugosidade está sujeita a erros relacionados com as condições ambientais. Sendo que de todas as condições, a vibração transmitida pelo solo ocupam um lugar de destaque, aumentando sua importância quando utilizados rugosímetros portáteis de medição com contato. Para valores de rugosidade pequenos, da ordem de alguns décimos de micrometros, a medição com instrumentos com apalpação torna-se difícil, pois a amplitude da vibração do ambiente pode ser da mesma ordem de grandeza que a rugosidade (Lyncée Tec, 2012). Desta forma, a medição da rugosidade com instrumentos de apalpação deve ser realizada num ambiente o mais livre possível de vibração. Entretanto, o isolamento e controle da vibração são dispendiosos e muitas vezes impraticáveis, sobretudo no chão de fábrica. Neste ambiente os níveis de vibração podem ser elevados devido à presença de grande quantidade de equipamentos e máquinas-ferramenta.

A fim de superar estas limitações o contato mecânico deve ser eliminado do processo de medição. A medição sem contato pode ser efetuada utilizando interferometria (Chand *et al.*, 2011). Para tanto são utilizados interferômetros com luz branca ou laser que possibilitam uma medição sem contato onde o perfil efetivo da rugosidade se aproxima do real com maior exatidão e confiabilidade. Na medição da rugosidade com o interferômetro a laser é avaliada uma área (Rhee, *et al.*, 2006) previamente definida da superfície objeto de medição, e como resultado obtém-se um mapa tridimensional de rugosidade, onde as diferentes cores evidenciam os diversos níveis de altura apresentados pela superfície.

Segundo Vorburger *et al.* (2007), as diferenças encontradas entre valores de rugosidade, na faixa de 50 a 300 nm, aplicando ambos os métodos de medição (com contato e sem contato) podem ser de aproximadamente 75%. Por sua vez, Chand *et al.* (2011) observaram que na faixa de 0,174 µm a 1,770 µm na medida em que a rugosidade diminui os vales se tornam mais estreitos e o perfil efetivo se afasta do real, com isto as diferenças encontradas entre os valores de rugosidade obtidos por ambos os métodos (com e sem contato) aumentam. Enquanto que para superfícies muito lisas os valores de rugosidade são similares.

Essa técnica permite a medição de rugosidade de peças fabricadas em materiais dúcteis, como o alumínio, que podem sofrer deformações (riscos deixados pela agulha do apalpador). Também pode ser avaliada a rugosidade de

peças com superfícies de geometria complexa, onde a medição com contato não seria viável. Nesses dois casos, a medição por contato alteraria o valor real da rugosidade de forma significativa, sobre tudo para valores de rugosidade pequenos.

A qualidade dos resultados da medição da rugosidade sem contato, por meio de interferometria, depende de vários fatores, incluindo: as condições ambientais, estratégia de medição e calibração do interferômetro. A estratégia de medição ocupa um lugar de destaque e pode afetar a qualidade dos resultados de medição. Esta estratégia é definida pelo operador por meio do software dedicado. Dentre outros fatores devem ser definidos: preparação e fixação das amostras; tamanho da área a ser varrida e velocidade de medição (J. Petzing *et al.*, 2010).

Com relação à área mínima a ser varrida durante a medição tem-se que alguns instrumentos permitem que o usuário selecione um tamanho mínimo de área na configuração do mesmo. Esta configuração especifica o menor número aceitável de pontos em uma região e funciona como um filtro passa-alta. Pelo exposto, este trabalho tem como objetivo investigar as principais fontes de erro da medição da rugosidade, sendo: posicionamento incorreto do apalpador, raio da ponta, deformações da peça e vibrações.

2. METODOLOGIA

A metodologia proposta foi dividida em três etapas:

Etapa 1. Medição do parâmetro de rugosidade Ra (Desvio aritmético médio) em um pistão de ferro carbono sinterizado (Fig 3b.) utilizado em compressores herméticos de refrigeração doméstica com e sem contato. Na medição sem contato utilizou-se o interferômetro TALYSURF CLI 2000 mostrado na Fig.3a. Este equipamento fabricado pela Taylor Hobson permite efetuar a medição sem contato da rugosidade em duas e três dimensões, utilizando luz branca com resolução de $0,01 \mu\text{m}$. A incerteza expandida associada à calibração do interferômetro é de $\pm 0,15 \mu\text{m}$ para k igual a 2,11 e probabilidade de abrangência de 95%. Por sua vez, a medição com contato foi efetuada por meio de um rugosímetro eletromecânico (Fig. 3d), modelo TIME TR200 da HOMIS com ponta de diamante de raio igual a $2 \mu\text{m}$, faixa nominal de $160 \mu\text{m}$ e resolução de $0,001 \mu\text{m}$. Segundo o Certificado de calibração CCA-010 (2012), a incerteza expandida associada à calibração é de $0,060 \mu\text{m}$ para k igual a 2,57 e 95 % de probabilidade de abrangência. Foram efetuados cinco ciclos de medição.

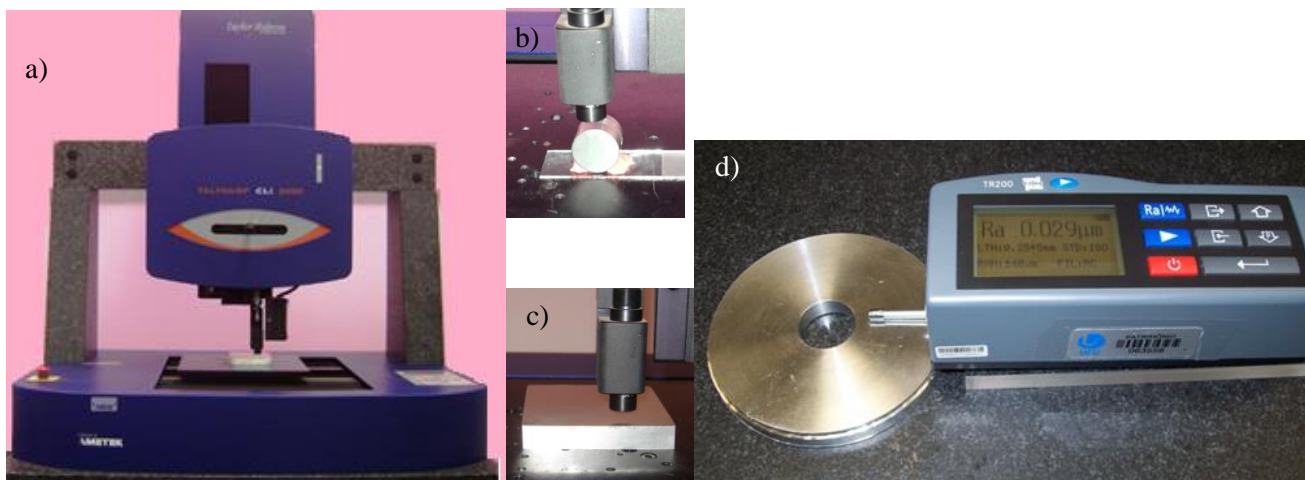


Figura 3: a) Interferômetro TALYSURF CLI 2000, b) pistão, c) peça de alumínio e d) rugosímetro portátil TIME TR200.

Etapa 2. Medição sem contato e com contato da rugosidade (Ra, Rq, Rz e Rt) por meio do interferômetro TALYSURF CLI 2000 e do rugosímetro eletromecânico TIME TR200 de duas peças, sendo uma de alumínio (Fig. 3c) e outra de aço inox. Esta etapa teve como objetivo principal identificar a contribuição da deformação da peça nos valores médios de rugosidade obtidos na medição com contato.

Etapa 3: Posteriormente, foi introduzida vibração mecânica no processo de medição com contato da peça de aço inoz, por meio de um gerador de sinais, acoplado a um amplificador de potencia, associado ao excitador de forma a se ter pleno conhecimento e controle das frequências e amplitudes. Para o monitoramento da amplitude da vibração foi utilizado um acelerômetro piezelétrico acoplado a um sistema composto por um amplificador de sinais (marca PCB, modelo PCB-482-A-20), um analisador de sinais (SPECTRAL DYNAMICS – SD 380), um amplificador de potência modelo 2712, um excitador, um gerador de sinais modelo 1049 do fabricante Brüel e Kjaer, um computador com um software especificamente desenvolvido para aquisição de sinais. O acelerômetro piezelétrico utilizado é do modelo PCB-352-C-33, nº de serie 97521, este foi fixado com cera na superfície do rugosímetro sobre o centro de massa do sistema (rugosímetro, peça e plataforma de acrílico), a fim de garantir a máxima incidência da vibração. Dentre as principais características deste sensor podem ser citadas: pouca massa; baixa sensibilidade a fatores ambientais; isolado eletricamente; frequência de ressonância alta e facilidade na montagem (Dobes, 2014). Dissertação Esta etapa foi descolcida com o intuito de verificar como a vibração mecânica afeta o resultado da medição com contato da rugosidade.

A incerteza associada à medição foi avaliação em todos os casos aplicando-se o método de Monte Carlo (MMC), com 100.000 iterações. As simulações foram efetuadas utilizando-se o Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA 1

A Figura 4 apresenta uma imagem 3D da superfície do pistão obtida durante a medição considerando uma área de $0,0625 \text{ mm}^2$, enquanto que a Figura 6 mostra o perfil bidimensional sobre o qual é calculado o parâmetro Ra. A Tabela 1 mostra os valores médios de Ra, para a o pistão, obtidos na medição com contato e sem contato. Ainda, são apresentados os valores de desvio-padrão e de incerteza expandida.

Na Figura 5, observa-se que os picos e vales estão distribuídos uniformemente e que a maioria das ordenadas que definem os pontos do perfil encontram-se no intervalo $\pm 2,5 \mu\text{m}$, denotando o excelente acabamento superficial do pistão.

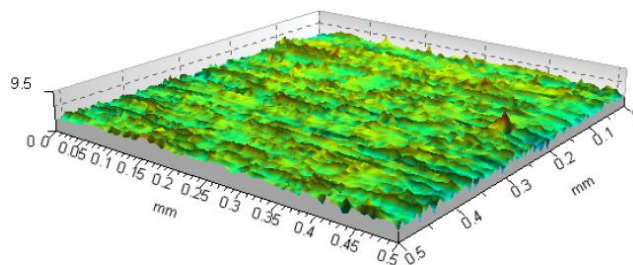


Figura 4: Imagem 3D da superfície do pistão.

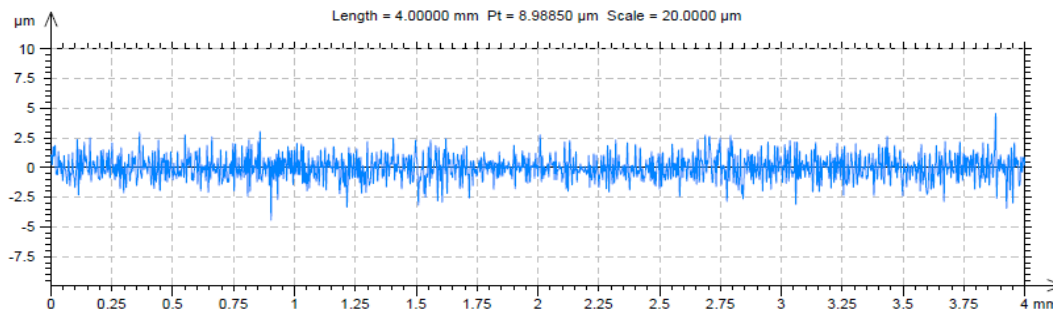


Figura 5: Perfil bidimensional da rugosidade do pistão.

Tabela 1: Valores de Ra para o pistão

	Ra com contato (μm)	Ra sem contato (μm)
Média	0,483	0,52
Desvio-padrão	0,147	0,05
Incerteza expandida (U - 95,45%)	0,156	0,14

A partir da Tabela 1 se conclui que a medição por contato apresenta menor repetibilidade isto pode ser justificado porque as pequenas dimensões do pistão e o formato cilíndrico dificultam o posicionamento do apalpador ao longo de seu eixo longitudinal (Fig. 6a). Ainda, mesmo com a utilização de um suporte para posicionamento do apalpador na altura desejada (Posição 1), este pode não ficar paralelo à superfície avaliada (Posição 2 e 3). Como consequência da elevada variabilidade de indicações, observou-se que a medição por contato exibe o maior valor de incerteza expandida, mesmo apresentando uma resolução inferior.

A diferença observada entre os resultados da medição com e sem contato é de 7%, provavelmente este resultado é consequência, também, da impossibilidade da agulha acessar os vales mais estreitos do perfil de rugosidade.

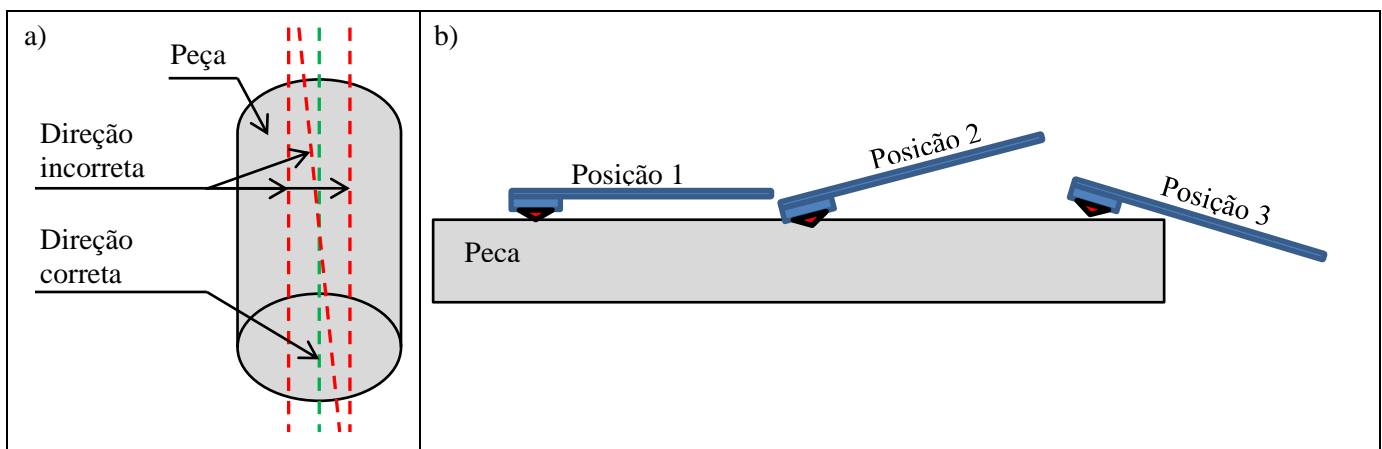


Figura 6: a) Direção do apalpamento e b) Posição do apalpador.

3.2 RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA 2

Na Figura 7 é apresentado o perfil efetivo de rugosidade obtido durante a medição da peça de alumínio. Enquanto que uma imagem bruta da superfície da peça de alumínio obtida no interferômetro por meio de luz branca para uma área de 1 mm^2 é apresentada na Fig. 8a.

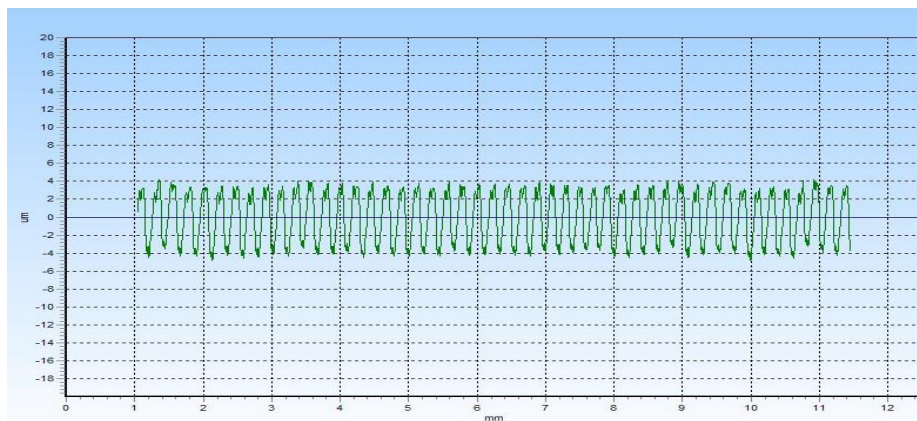


Figura 7. Perfil efetivo de rugosidade da peça de alumínio na medição 1

O perfil de rugosidade mostrado na Fig. 7 é um perfil periódico, onde não há picos e vales isolados, característico do processo de plainamento.

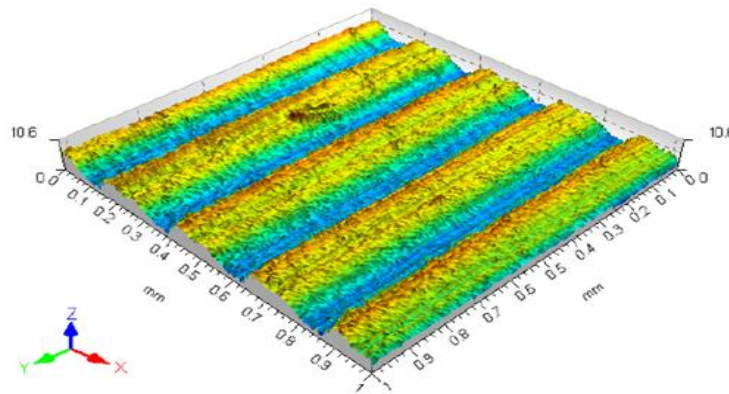


Figura 8. Imagem em 3D da superfície da peça de alumínio obtida no interferômetro

A Figura 8 evidencia os sulcos com formato retilíneo e paralelos entre si, deixados pela ferramenta de corte.

A Figura 9 mostra um perfil de rugosidade obtido por meio do interferômetro para a medição utilizando um comprimento de amostragem de 2,5 mm. Ao comparar os perfis de rugosidade mostrados nas Fig. 7 (com contato) e 10 (sem contato) observa-se que eles são similares com relação ao formato, mas com leves diferenças de amplitude, sendo que os valores das ordenadas dos pontos do perfil na medição sem contato variam entre $-5 \mu\text{m}$ e $5 \mu\text{m}$ e na medição com contato variam entre $-4 \mu\text{m}$ e $4 \mu\text{m}$. Consequentemente são esperados valores de rugosidade ligeiramente maiores para a medição sem contato (Fig. 10).

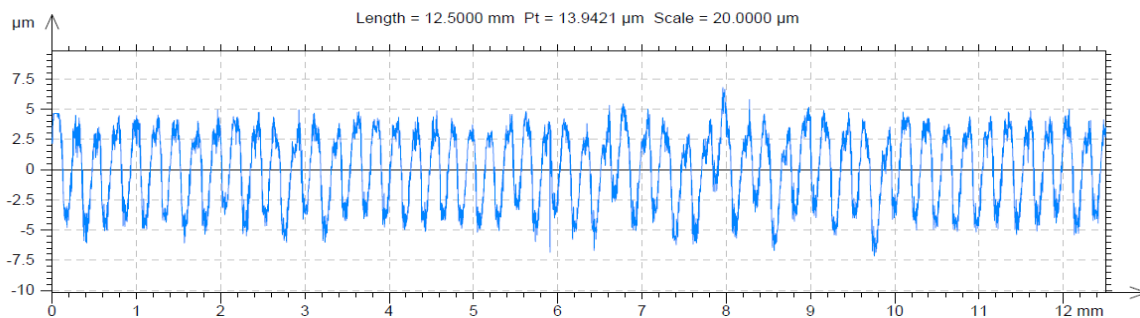


Figura 9. Perfil efetivo em 2D obtido por interferometria e luz branca para a peça de alumínio

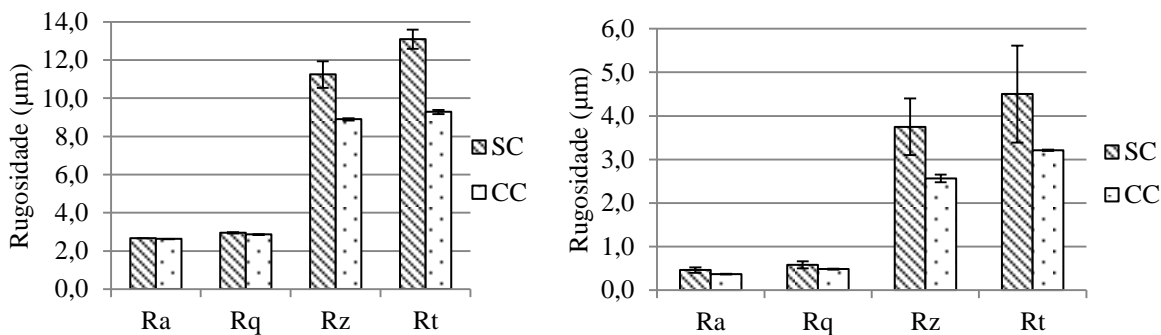


Figura 10. Valores de rugosidade obtidos por ambos os métodos para as peças de alumínio e aço inox

Pode-se observar na Fig. 10 que os valores médios de rugosidade obtidos durante a medição sem contato são maiores que aqueles encontrados para a medição com contato. Isto pode ser justificado devido a que a agulha não pode acessar os vales mais estreitos. Também, porque a rugosidade da peça não se apresenta de forma homogênea e principalmente porque as peças avaliadas podem sofrer deformação, especialmente o alumínio. Cabe ressaltar que a elevada ductilidade deste material leva ao aparecimento de uma trilha quando a agulha do rugosímetro apalpa a peça conforme mostrado na Figura 11, por meio de imagens obtidas no Microscópio Eletrônico de varredura (MEV) após o processo de medição da rugosidade.



Figuras 11 - Imagem da superfície da peça de alumínio obtida no MEV após a medição da rugosidade, a) escala 100 μm, b) escala 20 μm e c) escala 10 μm

Na Figura 11a são evidenciados os sulcos deixados pela ferramenta da plaina durante a usinagem (sulcos verticais) e as trilhas impressas na superfície pela agulha do rugosímetro (com diâmetro de 2 μm) no sentido horizontal. Observa-se na Fig. 11b e 11c a existência de vários riscos deixados pela agulha de diamante. Fica evidenciado que a superfície da peça sofreu danos (deformação) decorrentes do processo de medição por contato.

3.3 RESULTADOS OBTIDOS NA ETAPA 3

As Figuras 12 e 13 mostram os valores médios de rugosidade (R_z) obtidos em dois níveis de frequência (60 Hz e 100 Hz) e três níveis de aceleração (0,6 m/s², 1,0 m/s², 1,6 m/s²) para a peça de alumínio e de aço inox. São apresentados ainda os valores de desvios-padrão, bem como os resultados obtidos durante a medição da rugosidade em condições nominais (com aceleração “a” igual a zero).

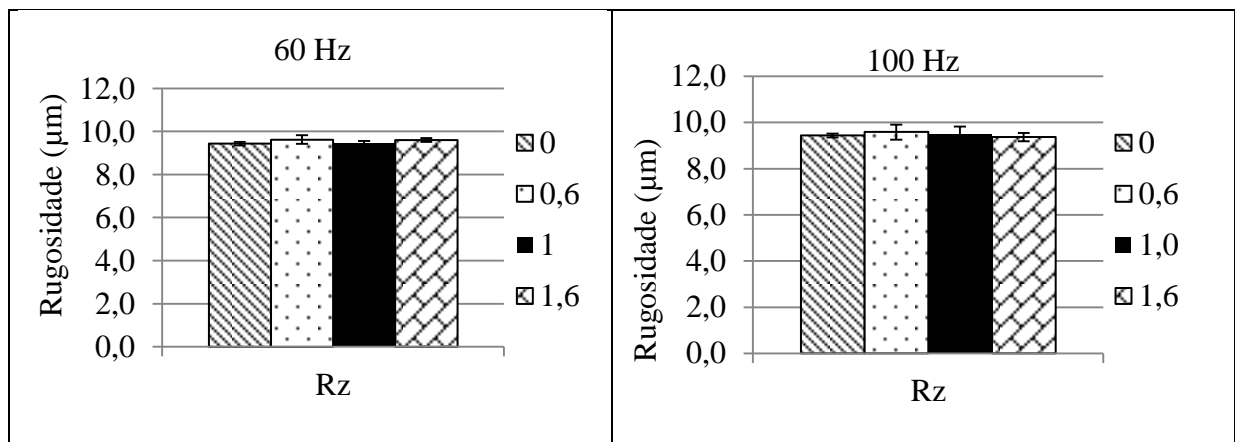


Figura 12: Valores de rugosidade (R_z) e desvio padrão para a peça de alumínio

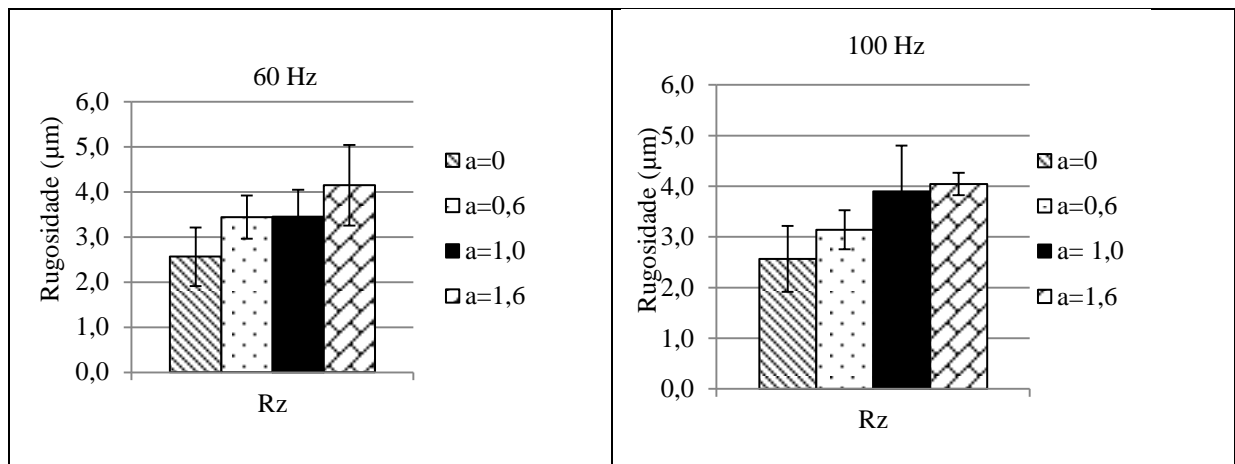


Figura 13: Valores de rugosidade (Rz) e desvio padrão para a peça de aço inox

Observa-se na Fig. 12 que a peça de alumínio apresenta valores de Rz muito similares para as duas frequências e as três acelerações investigadas. Resultados similares foram observados para Ra, Rq e Rt. Os valores de p obtidos durante a análise de variância (ANOVA) para os três parâmetros de rugosidade avaliados, para a peça de alumínio mostraram que não houve influência significativa da vibração.

A partir da Fig. 13 conclui-se que a peça de aço inox avaliada apresenta bom acabamento superficial, sendo que Rz assume nas condições nominais o valor de 2,564 mm. Para as frequências de 60 Hz e 100 Hz, o aumento da aceleração provocou alterações nos valores médios de Rz. Os valores médios de Rz e Rt para as acelerações de 0,6 m/s² e 1,0 m/s² são muito similares. Muito provavelmente, nestes casos, o efeito que a presença de picos e vales isolados provoca no resultado de medição se sobrepõe ao efeito da vibração. Com relação aos valores de desvio-padrão se observou que para as três primeiras acelerações estes são similares, enquanto que para a aceleração de 1,6 m/s² o desvio-padrão é significativamente maior. Isto se deve provavelmente ao fato da vibração gerada no sistema ter provocado uma instabilidade no contato entre a ponta da agulha do rugosímetro e a superfície da peça. Cabe ressaltar que para uma dada frequência à medida que a aceleração aumenta, a amplitude da vibração cresce e com isto o efeito provocado pela vibração tende a ser mais significativo. Ainda, a ANOVA revelou que os valores médios de Rz são estatisticamente diferentes.

Os valores de incerteza expandida associados à medição dos parâmetros de rugosidade seguiram a tendência do desvio padrão experimental, por ser esta a variável que mais contribuiu para a incerteza final da medição.

4. CONCLUSÃO

O método de medição com contato apresenta complicações devido a instabilidade do contato agulha-peça em algumas situações, como por exemplo, na medição de peças cilíndricas nas quais tem-se dificuldade em posicionar corretamente o apalpador, ocasionando medições com pouca repetibilidade. Ainda na medição por contato, observou-se que a agulha não pode acessar os vales mais estreitos, os valores médios de rugosidade obtidos durante a medição sem contato são maiores que aqueles encontrados para a medição com contato.

Os valores médios de todos os parâmetros avaliados (Ra, Rq, Rz e Rt) são diferentes quando considerada uma frequência constante e diferentes níveis de aceleração, exceto o parâmetro Ra que na frequência de 60 Hz não sofreu alterações.

Para uma frequência constante (60 Hz, 80 Hz ou 100 Hz), o aumento da aceleração levou ao incremento da amplitude da vibração e conseqüentemente o erro devido ao efeito da vibração foi maior, provocando o afastamento dos valores médios dos parâmetros de rugosidade em relação aos valores de referência ou nominais.

REFERÊNCIAS

- Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S.; Lirani, J. (1977). “Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões”. Edgard Blucher, 295p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 3274 (2008). “Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Características nominais de instrumentos por contato (pontas de apalpação)”. 13p.
- Bhushan, B. (2002). Modern Tribology Handbook, Volume One. Sharter 2 “Surface roughness analysis and measurement techniques”, pp. 49-120.
- Chand, M.; Mehta, A.; Sharma, R.; Ojha, V.N.; Chaudhary, K.P. (2011). “Roughness measurement using optical profiler with self-reference laser and stylus instrument – A comparative study”. *Indian journal of pure & applied physics*, V. 49, pp. 335-339.
- Dobes, J. (2014). “Influência da Vibração na Medição da Rugosidade”, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.
- Drozda, T.J.; Wick, C. (1983). “Toll and manufacturing engineers handbook”, Fourth edition, V. 1: Machining, Dearborn, MI. Society of Manufacturing engineers.
- Haitjema, H.; Morel, M. A. A. (2005). “Accurate roughness measurements by dynamic calibration”, VFM-uncertainty calculations and a special calibration specimen, *Journal of Physics: Conference Series* 13, pp. 232–235.
- Petzing, J. Coupland, R. Leach, Good Practice Guide No. 116. (2010). “The Measurement of Rough Surface Topography using coherence Scanning Interferometry”, 131 p.
- Jang, D. Y., Cho, Y., Kim, H. G., Hsia, A. (1996). “Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an on-line roughness measuring technique in hand turning”. *Int. J. Mach. Tools Manufact.* V. 36, N. 4.
- Leach R. (2001). “The measurement of surface texture using stylus instruments”. *Measurement good practice guide no. 37 national physical laboratory Teddington, middlesex, united Kingdom*, 97p.
- Lyncée Tec (Novembro de 2012). “Roughness measurements with Digital Holographic Microscopy”. Disponível em <http://www.lynceotec.com/downloads/>.
- Novaski, O.(1994). “Introdução à engenharia de fabricação mecânica”, ed. Edgard Blücher LTDA, 119p., São Paulo, Brasil.
- Piratelli-Filho A.(2011). “Rugosidade superficial”, Palestra, 3 Seminário de metrologia, FEMEC-UFU, 16 a 18 de maio de 2011, 41p., disponível em http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/Palestra_UFU_17_05_2011.pdf, acessado em 08/03/2014.
- Poon, C.Y.; Bhushan, B. (1995). “Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler”, AFM and non-contact optical profiler. *Wear* 190, pp. 76-88.
- Rhee, H.G.; Lee, Y.W.; Lee, I.W.; Vorburger, T.V. (2006). “Roughness Measurement Performance Obtained with Optical Interferometry and Stylus Method”, *Journal of the Optical Society of Korea*, V.10, N.1, pp. 48-54.
- Shaw, M. C. (1984) “Metal Cutting Principles”, *Oxford Science Publication*, New York, 594p..
- Taylor Hobson. (2003). “Surface Finish Metrology”, 329 slides.
- Vorburger, T. V.; Rhee, H. G.; Renegar, T. B.; Song, J. F.; Zheng, A. (2007). “Comparison of optical and stylus methods for measurement of surface texture”, *International journal advances manufacturing technology*, V. 33, 100p.
- Zahwi, S.; Koura, M.; Mekawi, A. (2003). “Factors influencing uncertainty evaluation for surface roughness measurements”. In Proceedings XVII IMEKO World Congress, June 22 – 27.

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.