

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE ATRAVÉS DE IMAGENS DIGITAIS

Juan Carlos Campos Rubio e Adolfo Guilherme Velten Filho

Universidade Federal de Minas Gerais - Laboratório de Usinagem e Automação
Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG. Cep: 31270-901

Resumo. Este trabalho estuda de forma preliminar dois métodos de avaliação da rugosidade superficial de peças usinadas por torneamento através do processamento de digital de imagens. No primeiro método as amostras são fotografadas através de um microscópio iluminadas por lâmpada incandescente. No segundo método são estudadas as imagens obtidas pelo espalhamento de um feixe de laser (produzido por LED) refletido das amostras e projetado em um anteparo. Nos dois casos as imagens foram obtidas através de câmara CCD tipo webcam diretamente pela porta USB do computador e então tratadas matematicamente com o software apropriado. Os dois métodos se mostraram promissores, sendo que o segundo método apresenta melhor desempenho para avaliar superfícies menos rugosas e é menos influenciado pelas condições ambientais, mas apresenta maior dificuldade para ser automatizado.

Palavras-chave: espalhamento, laser, rugosidade, imagem digital.

1 INTRODUÇÃO

A precisão dimensional e a rugosidade são dois dos principais parâmetros que medem a qualidade das peças acabadas. Vários parâmetros que garantem um bom acabamento podem ser programados nos modernos CNC. Contudo a qualidade de acabamento é afetada também por parâmetros de difícil controle como o desgaste da ferramenta e vibrações. O desenvolvimento de tecnologia para monitoração da textura superficial durante o processo de fabricação serve de base para o estudo dos mecanismos de formação da rugosidade e pode ser usado diretamente na fabricação para reduzir os custos com peças defeituosas ⁽¹⁾.

As formas tradicionais de medição da rugosidade não podem ser empregadas durante a usinagem, uma vez que na sua grande maioria são do tipo com contato, dificultando a medição da superfície ⁽²⁾.

A literatura mostra diversas formas de análise de rugosidade durante o corte. Yan et al. (1996) ⁽³⁾ apresentam um método que servira como base para o desenvolvimento deste trabalho. Na figura 1 é apresentado o esquema básico para uso deste princípio, aplicado ao processo de torneamento.

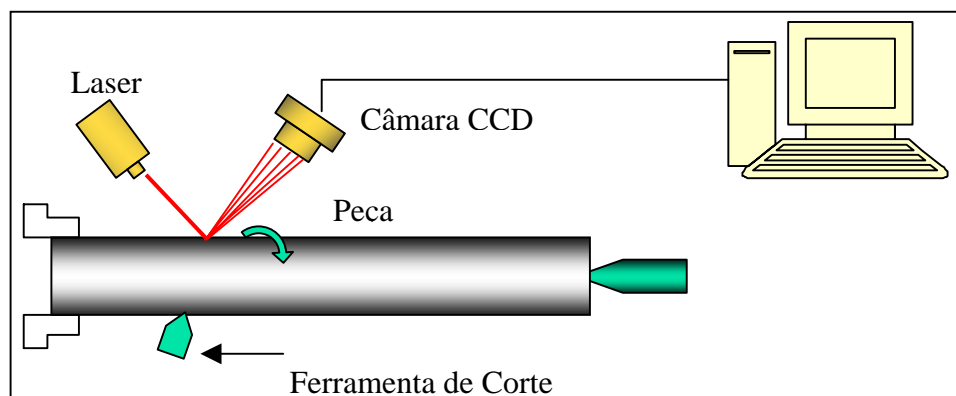


Figura 1 - Esquema de monitoramento da rugosidade durante o torneamento.

Este trabalho inicia os testes para obtenção de informações necessárias ao desenvolvimento de tecnologia aplicada a monitoração e controle da rugosidade nas superfícies torneadas durante a fabricação. Este trabalho experimenta e mostra a viabilidade de dois métodos de análise de imagem. Também, avalia a melhor opção e direciona os próximos passos para aprimorar e adaptar o método ao monitoramento em tempo real de rugosidade durante a usinagem de torneamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Textura Superficial.

A textura superficial é a característica relacionada às irregularidades na superfície de materiais sólidos. Pode ser definida em termos de rugosidade, ondulações, raias e imperfeições⁽⁴⁾.

A rugosidade superficial ou textura primária consiste de finas imperfeições que podem ser, da ordem de μm , originadas durante o processo de fabricação e possuem uma estreita relação com a ferramenta de corte.

A ondulação ou textura secundária é a componente da textura sobre a qual a rugosidade está sobreposta. Apresenta-se como série de desvios regularmente repetidos de forma aproximadamente senoidal e com comprimento de onda da ordem de milímetros. Sua origem é atribuída a deflexões da máquina e/ou peça e vibrações. Raias são estrias que possuem uma direção predominante e as imperfeições são defeitos tais como pequenas trincas, entalhes e arranhões⁽²⁾.

2.2 Geração da rugosidade

No torneamento lateral a geometria da superfície é composta de depressões ou ranhuras em forma helicoidal com profundidades iguais formada pela ferramenta de corte, marcas de vibrações sobre as ranhuras e grandes ranhuras espaçadas irregularmente causadas pelas interações máquina-ferramenta-cavaco⁽⁴⁾.

A rugosidade superficial tem quatro características principais: alturas das irregularidades, dimensões laterais, orientação das irregularidades e passo. No torneamento as ranhuras possuem forte orientação e por isso a direção mais importante em termos de medição é a transversal, ou seja, a direção do avanço.

A hélice formada ao longo da superfície possui a forma da ponta da ferramenta e passo igual ao avanço, sendo que a rugosidade teórica é dada por:

$$R_T = \frac{a^2}{8R_p} \quad [01]$$

Onde: a = avanço da ferramenta em mm/volta e

R_p = Raio da ponta da ferramenta em mm

2.3 Parâmetros estatísticos para quantificação da rugosidade.

Os parâmetros usados para quantificar a rugosidade podem ser classificados dentro de três grupos: parâmetros de amplitude, parâmetros de espaçamento e parâmetros híbridos.

O Tabela 1 mostra os principais parâmetros de amplitude e sua definição resumida.

Tabela 1 – Definições de alguns parâmetros de rugosidade.

Nome	Simb.	Definição
Rugosidade média	Ra	Média das amplitudes em relação a uma linha de referencia.
Rugosidade média quadrática	Rq	Raiz quadrada da média dos quadrados das amplitudes em relação a linha média.
Rugosidade total	Rt	Distancia vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo.
Rugosidade média	Rz	Média da distancia vertical entre os cinco maiores picos e cinco maiores vales.
Rugosidade Rp	Rp	Máxima altura do perfil acima da linha de referencia.

Dentre os parâmetros de amplitude destacam-se o fator de enchimento e a média das distâncias entre as saliências.

O fator de enchimento (T_p) é dado na forma percentual e calculado através da proporção de uma dada linha, (paralela a linha de referencia) que intercepta o material do perfil. Este parâmetro, ao contrário de R_a é útil para simular o efeito do desgaste por atrito, pois indica quanto material existe em uma determinada altura.

A média das distâncias entre as saliências é definida como média dos passo entre as saliências, medida sobre a linha média.

Exemplos de parâmetros híbridos são: a média das inclinações e funções de distribuição entre outros.

2.4 Imagem Digital

O termo imagem digital refere-se a uma imagem que pode ser discretizada quanto as suas coordenadas espaciais e quanto a intensidade de seu brilho. Logo, uma imagem digital pode ser considerada uma matriz cujos índices das linhas e colunas identificam um ponto dentro da imagem e o correspondem ao valor do elemento da matriz que identifica o nível de intensidade luminosa naquele ponto ⁽⁵⁾.

O processamento de imagem fornece a digitalização da imagem para produzir um resultado desejado, desde sua intensificação para a exibição melhorada do detalhe de uma cena até o processamento de várias imagens constituintes. No processo de discretização, a imagem é quadriculada por um *grid* regular. Cada "pixel" (célula) deste *grid* é descrito por um par de coordenadas (x, y) relativas a um referencial posicionado no canto superior esquerdo da imagem.

3 INSTRUMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

Foram utilizados câmara do tipo Wecam Labtec, microscópio AskAnia GSZ 2T, laser gerado por LED, cinco padrões com diferentes rugosidades e um micro computador com interface serial USB e sistema operacional Windows 98.

Para obter as fotografias foi usado o software Labtec webcam fornecido juntamente com a WebCam.

Para o processamento das imagens utilizou-se o software LabVIEW versão 6.1 com o IMAQ Vision para LabVIEW versão 6.0. O LabVIEW é um software da National Instruments destinado a automação. Possui recursos para comunicação com placas de aquisição de dados e outros instrumentos, além de diversas ferramentas para processamento de sinais. O ambiente de programação é do tipo gráfico como pode ser visto na figura 2. A figura 3 mostra a janela de operação do programa desenvolvido e a imagem que estava sendo trabalhada naquele momento.

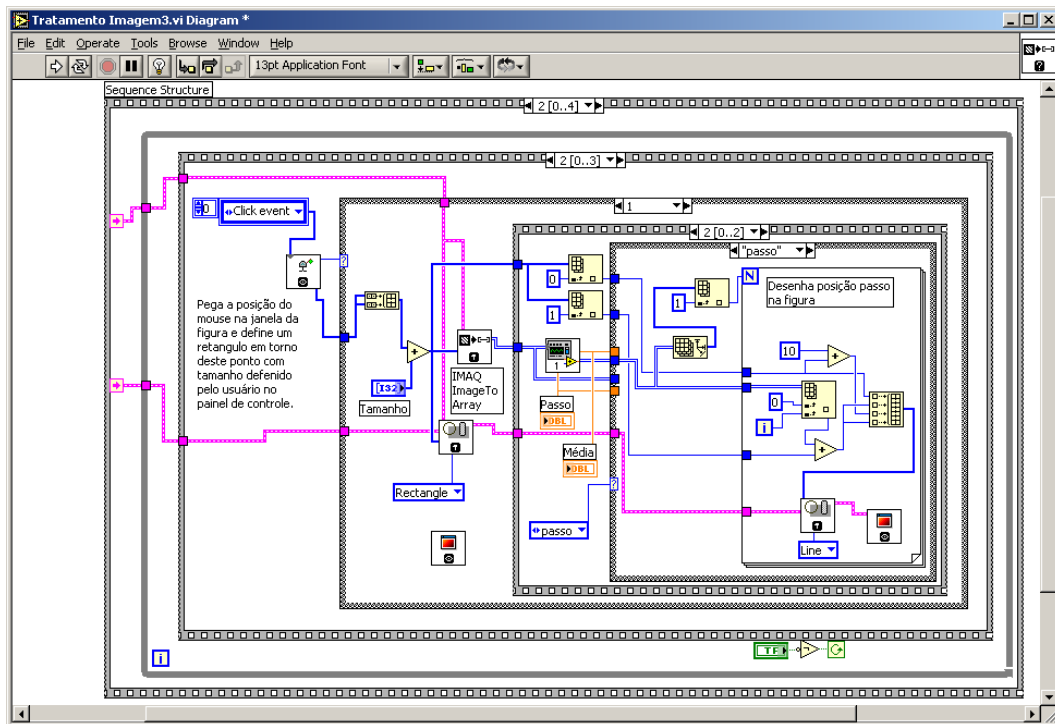


Figura 2 – Ambiente de programação do LabVIEW.

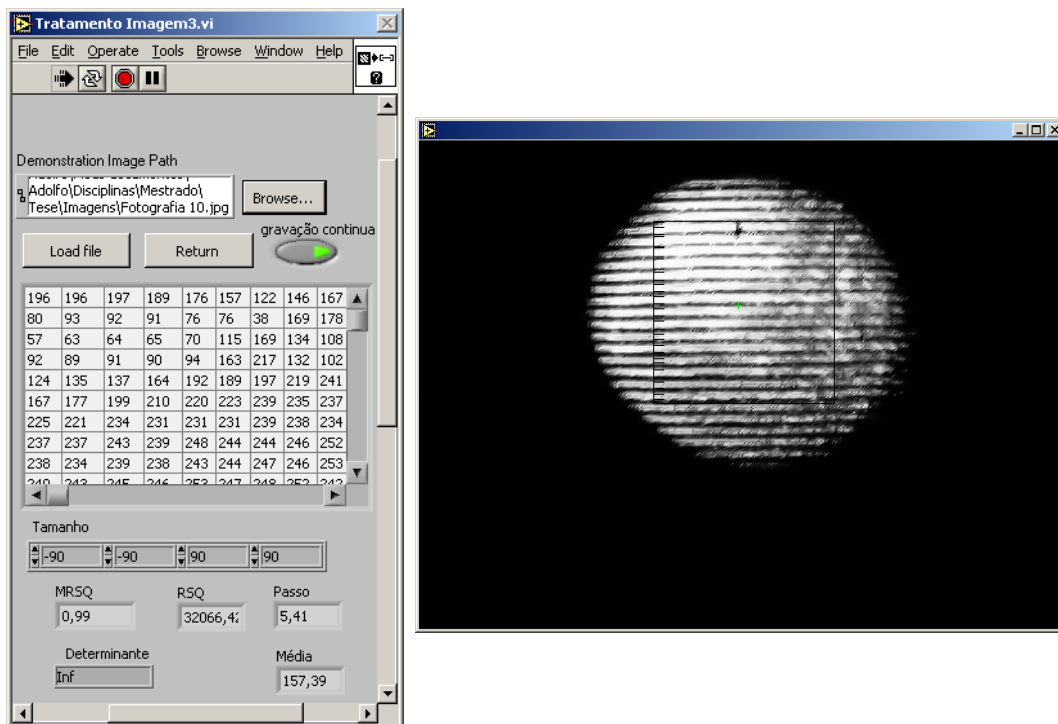


Figura 3 – Ambiente de operação do software desenvolvido para tratamento de imagem através do software LabVIEW.

4 PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

4.1 Método 1 – Amostras iluminadas por luz de lâmpada incandescente.

Foram feitas fotos de cinco padrões de rugosidade obtidos por processo de torneamento. Elas foram posicionadas sob o microscópio e iluminadas obliquamente por um feixe de luz. A tabela 2 mostra os valores de rugosidades dos padrões e a figura 4 a montagem.

Tabela 2 – Parâmetros de Rugosidade dos Padrões fotografados

Padrão de Rugosidade	Rz	Rt	Ra	Rp
1	6,5	7,4	1,3	2,9
2	9,8	11	2,2	3,8
3	20	22	6,4	9,8
4	41	43	10	21
5	78	80	20	42

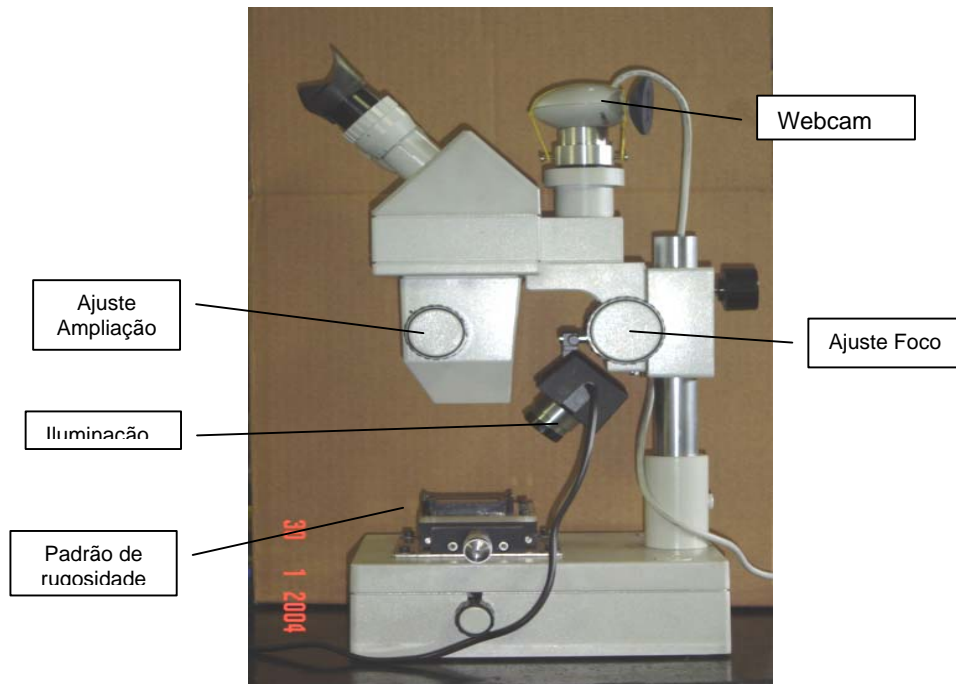


Figura 4 - Foto do Microscópio acoplado a WebCam.

As fotografias foram feitas a cores com resolução 620 x 480 pixel e armazenadas em arquivos no formato jpeg. Ao fazer o processamento foram convertidas para escala de cinza com 8 bits. Para efeito ilustrativo são mostrados a seguir duas fotografias e gráficos da intensidade (escala de cinza) da linha média vertical da imagem.

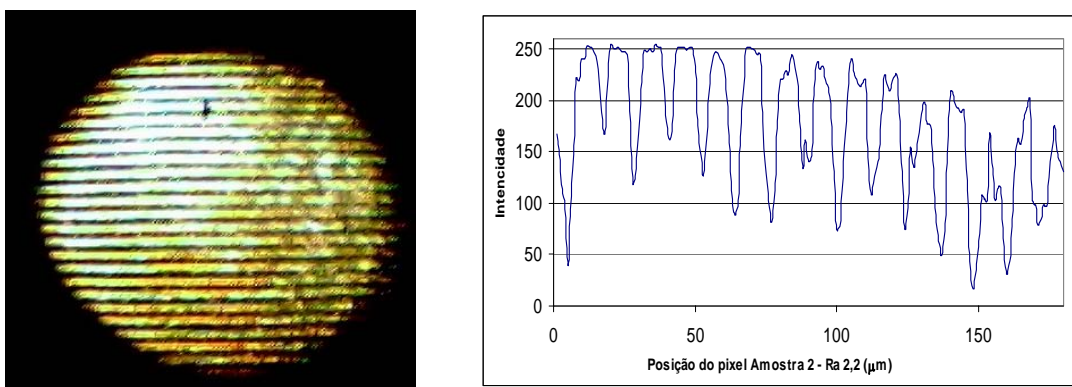


Figura 5 – Foto do padrão 2 e seu perfil de intensidade da linha vertical central.

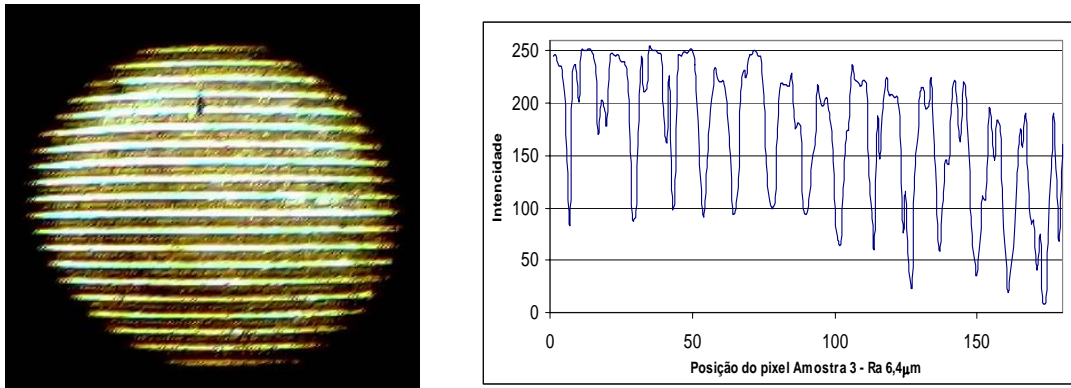


Figura 6 – Foto do padrão 3 e seu perfil de intensidade da linha vertical central.

De cada imagem foi obtido uma matriz de tamanho 180x180, a qual foram aplicados os algoritmos Norma de Frobenious, Passo e Média das amplitudes para reduzi-las a um número capaz de representar sua rugosidade. O Passo se mostrou o mais eficiente. Foi calculado pela média das distancias (número de pixels) entre os picos e os vales do perfil de intensidade de pixel. A Figura 7 mostra o gráfico que relaciona o Passo à rugosidade dos padrões.

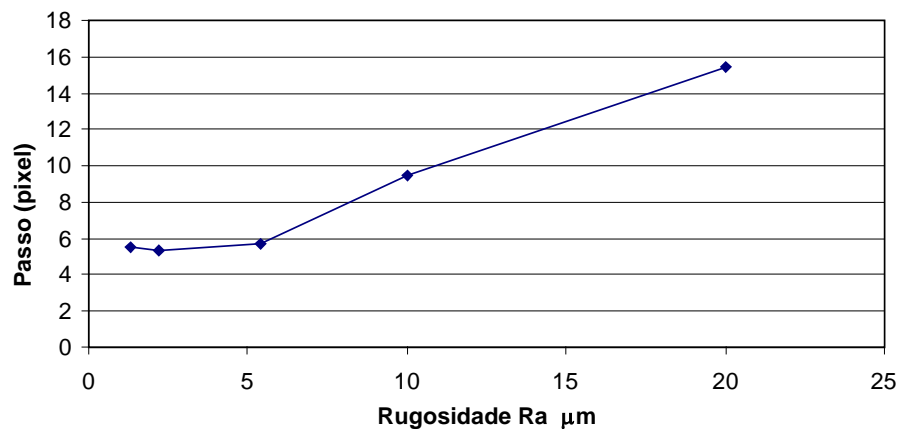


Figura 7 - Gráfico da relação do Passo e Ra dos padrões de rugosidade.

4.2 Método 2 – Espalhamento de feixe de laser.

Neste método aplicou-se de forma oblíqua um feixe de laser de pequeno diâmetro sobre os padrões. O feixe refletido foi projetado em um anteparo e fotografado. O espalhamento do feixe é mais intenso quanto maior a rugosidade do padrão. As Figura 8 e Figura 9 mostram fotografias e seus respectivos gráficos da intensidade (escala de cinza 8 bits) em função da posição (pixel) para os padrões de rugosidade 1 e 3.

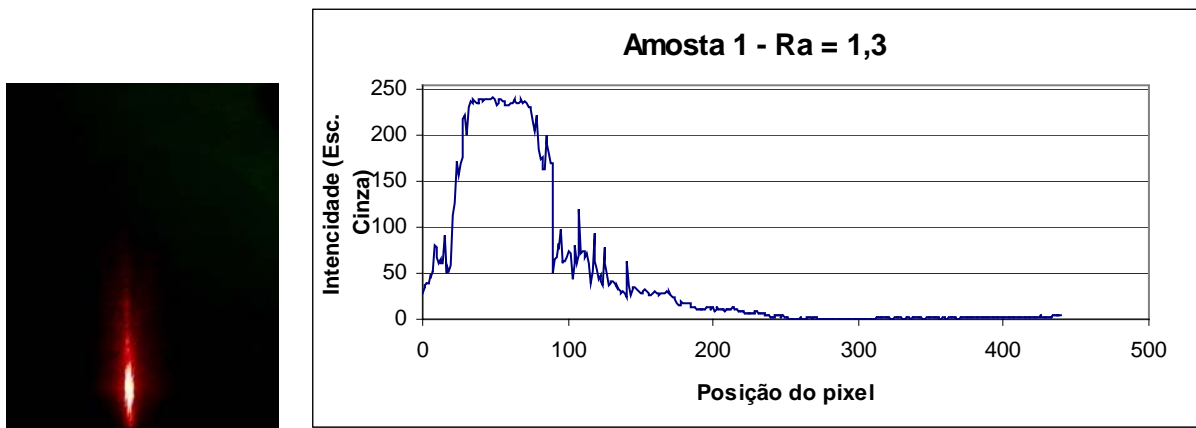


Figura 8 – Foto do laser espalhado e gráfico da intensidade para o padrão 1.

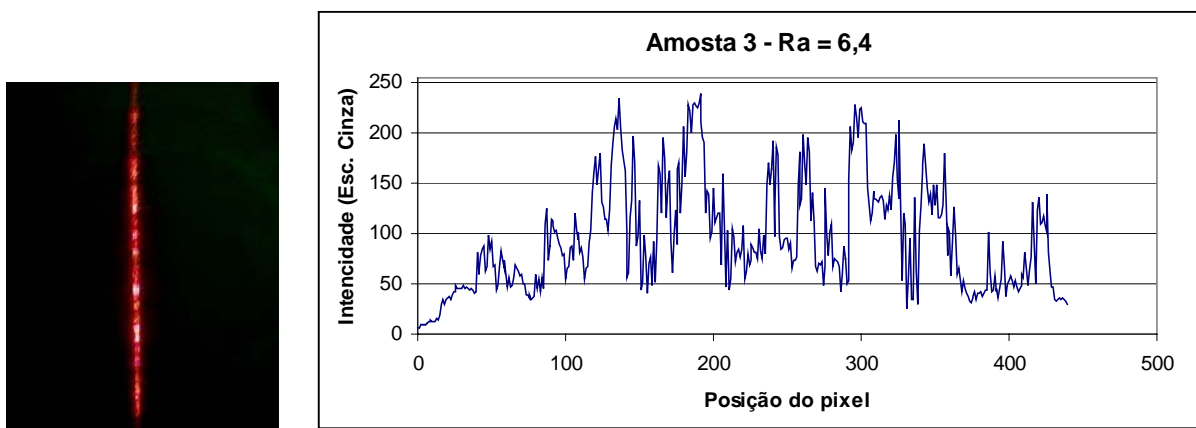


Figura 9 - Foto do laser espalhado e gráfico da intensidade para o padrão 3.

Observando as diversas imagens percebeu-se que o laser espalhado estende-se mais para cima à medida que a rugosidade aumenta. Com base nisto as imagens foram tratadas através de uma equação que atribui maior peso aos *pixels* mais distantes do eixo das abscissas, para tanto foi utilizada a equação 1:

$$RT = \frac{\sum_{i=1}^n I_i \cdot i}{\sum_{i=1}^n I_i} \quad [02]$$

Onde:

RT é o fator representativo do resultado do tratamento (o qual procura uma correlação com a rugosidade da amostra);

I_i é o valor da intensidade do pixel que ocupa a posição *i*;

i é a posição do pixel. Pode variar de 0 a 479.

n é o número máximo que *i* pode assumir (neste caso 479).

A Figura 10 mostra a correspondência de RT com a rugosidades dos padrões. Repare que a escala do eixo x é logarítmica e , portanto a equação que melhor relaciona RT e Ra foi:

$$RT = 29751 \ln(Ra) + 2523,9 .$$

[03]

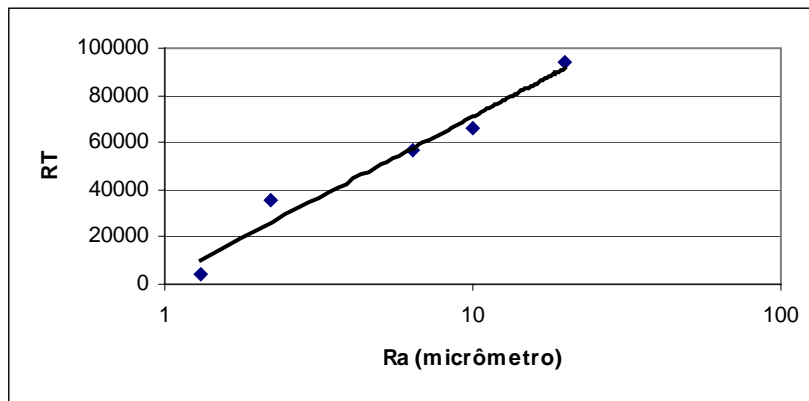


Figura 10 – Gráfico de correlação do resultado do tratamento e a rugosidade Ra dos padrões.

5 CONCLUSÕES

Com este trabalho foi possível mostrar que os dois métodos podem ser usados para avaliar a rugosidade dentro de certos limites. O primeiro método não apresentou bons resultados para amostras pouco rugosas, contudo pode-se obter boa exatidão para amostras mais rugosas desde que se conheça o raio de ponta da ferramenta de corte.

O segundo método demonstrou ter um comportamento mais estável em toda faixa de rugosidade estudada, apresentando um bom desempenho mesmo para análise de superfícies com baixa rugosidade. A influencia da iluminação ambiente sobre o processo é menos significativa se comparada com o método anterior. Isto se deve ao fato da analise ser voltada para distribuição do espalhamento e não para a sua intensidade.

O feixe de laser espalhado forma uma imagem grande no anteparo colocado a uma distancia de aproximadamente 30cm da amostra. Este fato dificulta a captura da imagem diretamente pela câmara. A solução para este problema pode ser a utilização de um sistema de lentes colocado entre a câmara e a peça, facilitando a automatização do método. Os novos trabalhos deverão usar amostras com rugosidades dentro de uma faixa mais estreita e assim poder avaliar com maior precisão a viabilidade do método para monitoração da textura superficial durante o processo de fabricação.

6 REFERÊNCIA

1. WHITEHOUSE, D. J. (1998); Surface: an essential link in nanotechnology. Nanotechnology, Vol. 9. Pág. 113-117.
2. TAKEYAMA, H.; SEKIGUCHI, H.; MURATA, R. & MATSUZAKI, H. (1976); In-Process Detection of Surface Roughness in Machining. Annals of the CIRP. Vol. 25, N° 1, Pág. 467-471.
3. YAN, D.; KAYE, S.; BALAKRISHNAN, S.; POPPLEWELL, N. (1996); Surface Roughness Measurements in Finish Turning. Int. J. Adv. Manuf. Technology. Vol. 11, Pág. 91-100.
4. DI RAIMO, E. Rugosidade e espalhamento em superfícies de alumínio torneadas com ferramenta de diamante. São Carlos, 1998, Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
5. CARVALHO, A., SILVA, R., REBELLO, J. VIANA, A. (2003); O mundo das imagens digitais. Revista Matéria, Vol. 8, N° 2, pág. 167-186.

Evaluation of Roughness through Digital Images

Juan Carlos Campos Rubio e Adolfo Guilherme Velten Filho

Universidade Federal de Minas Gerais - Laboratório de Usinagem e Automação
Campus Pampulha, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, MG. Cep: 31270-901

Abstract: This work studies in way preliminary two methods of evaluation of the surface roughness of turned pieces through the processing of digital images. In the first method the samples are photographed through a microscopic light up by incandescent lamp. In the second method they are studied the images obtained by the scattering of a laser beam (produced by LED) reflected of the samples and projected in a screen. In the two cases the images were obtained directly through camera CCD, type webcam for the door USB of the computer and then treated mathematically with the appropriated software. The two methods were shown promising. The second method presents best performance to evaluate less surfaces roughness and it is less influenced by the environmental conditions, but it presents larger difficulty to be automated.

Keywords: scattering, laser, roughness, digital image.