

Correlação entre os parâmetros de rugosidade: uma abordagem matemática

Francisco Elicivaldo Lima
Universidade de Fortaleza
Franciscolima@unifor.br

Maurício Corrêa
Universidade Paulista
mcorre@unip.br

Resumo

Diante da necessidade de, a partir do parâmetro de rugosidade média R_a , estimar os valores de outros parâmetros tais como rugosidade máxima e rugosidade total é que este trabalho propôs a criação de um modelo matemático de modo que, na prática, as indústrias que atuam na área metal-mecânica, bem como o meio acadêmico, pudesse dispor, a partir de então, com uma ferramenta capaz de estimar valores para outros parâmetros de rugosidade e, desta forma reduzir o tempo, quando possível, de aferições extras de lotes de peças usinadas. Os resultados mostraram que o modelo matemático proposto é extremamente eficiente na estimativa dos parâmetros de rugosidade total e máxima.

Palavras-chave: *Rugosidade. Modelo matemático.*

Abstract

With the need from the measure of average roughness R_a estimate the values of other parameters the roughness is that the work proposed the creation of a mathematical model so that the industries that act in area metal mechanics, as well as academic, could have since then with a tool capable of estimating values for other parameters of roughness, and thus reduce the time, when possible, extra measurements of lots of parts machined. The results showed that the mathematical model proposed is extremely efficient in the estimation of the parameters of roughness R_t e R_y .

Keywords: *Roughness. Mathematical model.*

1 Introdução

A história acerca dos processos de fabricação mecânica desperta curiosidade quando se faz um estudo sobre as técnicas empregadas para tal fim. Trent (2000), cita que o processo de fabricação teve início no começo da civilização com a produção de artigos de foras da madeira ao metal, passando, aí, pela cerâmica, pedra e outros.

A madeira é citada como a principal opção de material a ser empregado na produção de utensílios domésticos. A explicação está no fato de que a mesma apresenta maior facilidade em se trabalhar, ao passo que os processos de fabricação, empregados para a produção de tais utensílios de metais eram bastante rudimentares, o que os tornavam, praticamente, inviáveis.

Da Silva (2007), citando Trent, relata que "o desenvolvimento dos processos de fabricação teve grande impulso por volta de 1760". Para Trent (2000), algumas das características mais importantes em uma ferramenta empregada na usinagem são: dureza, tenacidade e resistência mecânica. Tais ferramentas, segundo o autor, tiveram melhorias naquelas propriedades que, anteriormente, impossibilitavam o uso em determinadas aplicações.

A descoberta e manipulação de novos materiais de corte pode ser considerada uma das mais importantes ações, em se falando de desenvolvimento de ferramentas empregadas em usinagem, do século XX. Da Silva, faz referência a Komanduri, quando cita que a queda dos custos possibilitou a disseminação dos processos de fabricação através de metais por todo o mundo. Exemplifica o autor citado que: "os processos de fabricação correspondem a uma grande porcentagem da economia mundial, com consumo da ordem de \$35 a \$40 bilhões de dólares por ano. Somente nos Estados Unidos esse valor foi superior à \$7 bilhões no ano de 1996 em ferramentas". Da Silva chama, ainda a atenção para o que diz Trent com relação ao custo final do produto no qual estão embutidos cerca de 15% em custos de fabricação.

Na indústria metal-mecânica há um grupo de processos de usinagem convencional que tem aplicação predominante quando comparados a outros processos. Como exemplo pode-se citar o processo de torneamento e fresagem. Destaque

especial para este que tem como principal vantagem o fato de permitir a usinagem de peças com as mais diversas formas geométricas.

O avanço tecnológico tem permitido que as indústrias tenham à disposição máquinas-ferramentas cada vez mais eficazes na obtenção de peças com mais qualidade. Tem-se como exemplo, máquinas acionadas por comando numérico ou, como preferimos chamar, máquinas ACN. As peças obtidas por tais máquinas tendem a apresentar boa qualidade superficial e dimensional. A explicação encontra-se na possibilidade de tais máquinas poderem trabalhar com maior velocidade de corte e, também, pelo fato de as indústrias que atuam na área metal-mecânica, com ênfase em usinagem, encontrarem no mercado ferramentas de corte que resistem a altas temperaturas geradas durante a usinagem sem apresentarem desgaste acelerado.

É sabido que as condições de corte, com ênfase nos parâmetro avanço e velocidade de corte, exercem influência na rugosidade superficial das peças usinadas. A literatura especializada no assunto (Trent, 2000) aponta a velocidades de corte como sendo umas das variáveis que mais influenciam na qualidade de peças usinadas. O valor do avanço é citado como sendo a causa entre a diferença de altura dos picos e vales das marcas de deixadas por este parâmetro, na superfície de uma peça usinada. Assim, tem-se que tais diferenças são aumentadas à medida que se aumenta o avanço.

Rugosidade média Ra

Na Figura 1, o perfil médio é a linha tal que, no comprimento L, a soma das áreas cheias acima é igual à soma das áreas vazias abaixo (considerando a superfície sem ondulação).

A rugosidade média R_a é definida por: $R_a = (1/L) \int_{0,L} |h(x)| dx$

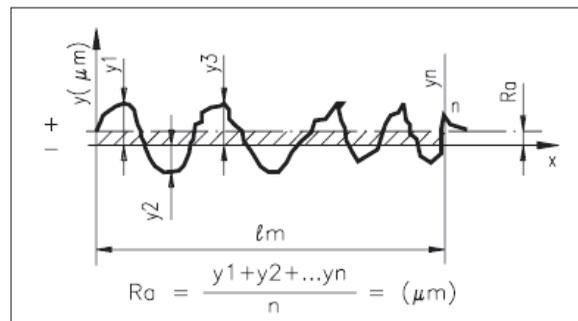


Figura 1: Rugosidade Média Ra.

A rugosidade média R_a é de longe o método mais usado para indicação da rugosidade. Instrumentos para medir usam circuitos eletrônicos relativamente simples para a operação de integração.

Na Figura 2, têm se faixas de rugosidades médias típicas para alguns processos.

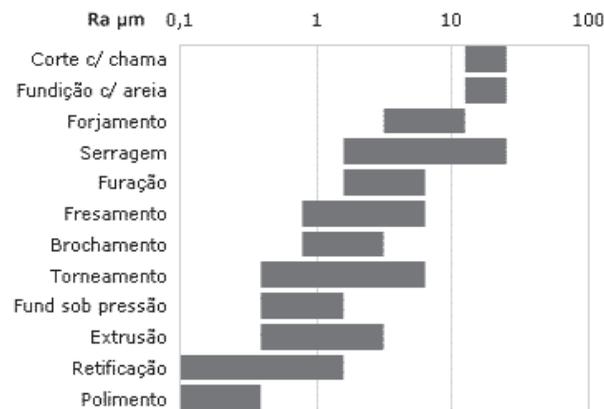


Figura 2: Valores típicos de Rugosidade média Ra para vários processos de usinagem.

Rugosidade total R_t

É dada pela diferença entre o pico mais alto e a depressão mais baixa no comprimento considerado. Pode ser um bom indicador da ocorrência de falhas no processo de fabricação.

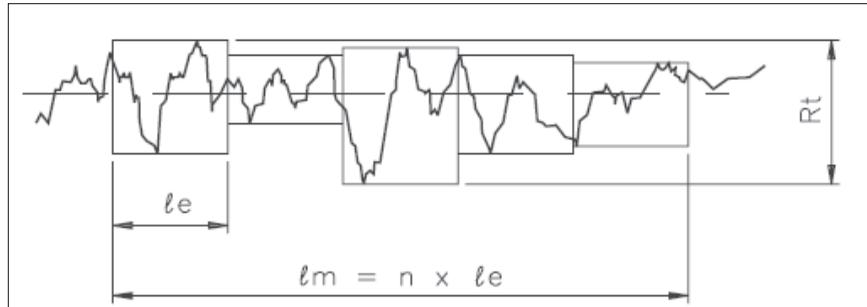


Figura 3: Rugosidade Total R_t .

A Figura 4, abaixo, dá uma idéia aproximada da faixa de rugosidade R_t das superfícies obtidas por alguns processos de produção.

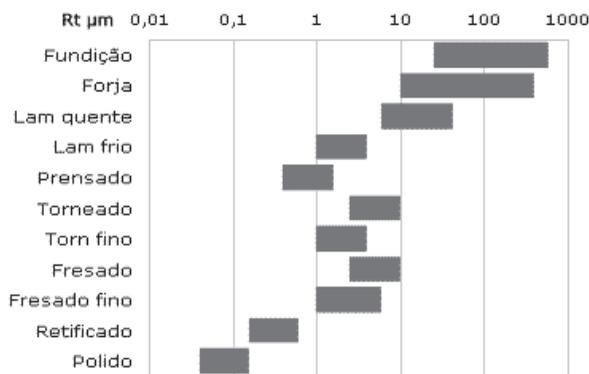


Figura 4: Valores típicos de Rugosidade total R_t para vários processos de usinagem.

Rugosidade máxima R_y

Estar definido como o maior valor das rugosidades parciais (Z_i) que se apresenta no percurso de medição (l_m). Assim, na Fig. 5, o maior valor parcial é o Z_3 , que está localizado no 3º cut off, e que corresponde à rugosidade R_y .

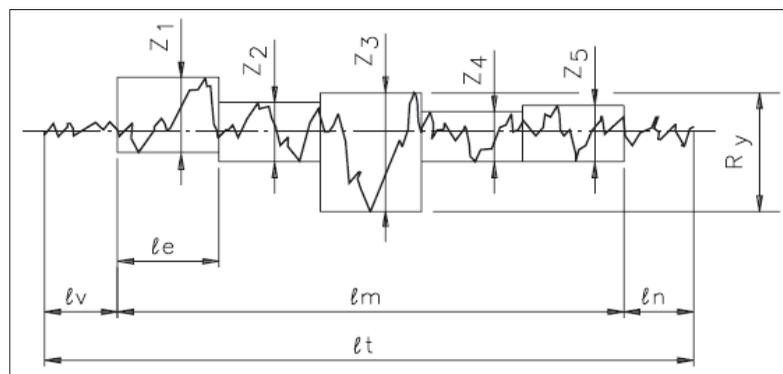


Figura 5: Rugosidade Máxima R_y .

2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é criar um modelo de regressão com vistas à correlação entre os parâmetros de rugosidade superficial. Como objetivo específico, a averiguação, utilizando o Eviews (software de estatística), o grau de correlação existente entre os valores de rugosidade (média, total e máxima) e, assim, criar um modelo de regressão que possa, então, ser empregado para estimar determinado valor de parâmetro de rugosidade a partir de outro, dentre aqueles obtidos pelo rugosímetro portátil.

3 Justificativas

Quando da fabricação de determinada peça empregando o processo de fabricação por usinagem utiliza-se, como indicador da qualidade da peça usinada, parâmetros de rugosidade obtidos por instrumentos denominados rugosímetros. Tais instrumentos têm a capacidade de fornecer inúmeros parâmetros a partir de uma mesma medida.

Assim, tem-se como principais parâmetros a rugosidade média R_a , a rugosidade total R_t e a rugosidade máxima R_y .

O primeiro (R_a), representa a média entre as alturas dos picos e vales, enquanto o segundo (R_t), por sua vez, expressa o maior valor ou distância, entre o pico mais alto e o vale mais profundo constatado dentre todos aqueles existentes ao longo de comprimento averiguado e “varrido” pelo rugosímetro. O terceiro (R_y), representa o valor de rugosidade obtido de um total de cinco medidas feitas ao longo de todo o comprimento averiguado pelo instrumento de medição (rugosímetro).

No Brasil, as indústrias que atuam na área metal-mecânica costuma empregar como parâmetro padrão, a rugosidade média R_a . Outros países como o Japão, Canadá, etc. seguem na mesma linha do Brasil. Contudo, países como a Alemanha, Inglaterra, etc, utilizam como parâmetro padrão, a rugosidade total R_t .

Deste modo, é muito comum ter-se em uma indústria multinacional, relatórios enviados de uma filial para outra, com especificação de parâmetros de rugosidade extraídos em função da necessidade ou hábito de determinado país. Assim sendo, a maneira que se encontra, hoje, para se ter sempre um relatório que possa ser, do ponto de vista dos parâmetros de rugosidade superficial, manuseado e utilizado em outra filial de uma multinacional, sem problemas quanto à utilização dos parâmetros de corte, é se extrair, por meio da utilização do rugosímetro, todos aqueles parâmetros que se deseja, tendo em vista os países onde se tem filiais. Esse processo é, conseqüentemente mais demorado pois em vez de se extrair um único parâmetro, agora haveria a necessidade da obtenção de dois ou mais parâmetros.

Além do inconveniente supracitado, tem-se, ainda, aquela situação em que determinado parâmetro não foi anotado, admitindo a não necessidade naquele instante mais que, posteriormente, tenha sua necessidade revelada. Nestes casos mais graves, do ponto de vista da operacionalização, só se consegue obter tais parâmetros por meio de uma nova averiguação com a utilização do rugosímetro; o que, em muitos casos se torna inviável tendo em vista que a(s) peça(s) já não se encontram disponíveis para tal operação.

Destarte, por todo o exposto até então é que se busca, por meio deste trabalho, criar um modelo de regressão com vistas à correlação entre os parâmetros de rugosidade superficial e, assim, simplificar, sobre maneira, a possibilidade de, por meio de um único parâmetro de rugosidade superficial obtido, estimar outros com um grau de confiabilidade de no mínimo 95 %.

Com a aplicação deste modelo tem-se a redução de tempo de obtenção dos parâmetros de rugosidade e, ainda, a possibilidade de, mesmo não sendo possível refazer as medições por meio do rugosímetro, estimar valores para outros parâmetros que não tenham sido medidos quando da utilização de tal instrumento.

Rossi (2003) também fez uso de “ferramentas estatísticas” para estudar a relação existente entre parâmetros de corte na usinagem de peças. Segundo o autor, a técnica de regressão múltipla é uma metodologia para o estudo das relações entre variáveis e que pode ser implementada visando à determinação de relações entre variáveis dependentes e independentes, podendo ser usada para analisar dados e gerar um modelo.

Portanto, com o desenvolvimento deste trabalho as indústrias que atuam na área metal-mecânica passam a contar com um instrumento (modelo de regressão) que lhes permitirá estimar valores de parâmetros de rugosidade em função de suas necessidades e local de aplicação. Destarte, não haverá mais a necessidade de maior tempo na obtenção de todos os parâmetros por meio do rugosímetro. Tem-se, assim, uma redução do tempo de ocupação do operador bem como do instrumento. O meio acadêmico, de maneira não diferente, passa a contar com um modelo de regressão, capaz de estimar valores se parâmetros de rugosidade a partir de outros extraídos de trabalhos de pesquisa, e realizados nos mais diversos países, independentemente da escolha do parâmetro. Com isso, poderá, então, comparar com aqueles que se busca levantar quando da realização de determinada pesquisa.

4 Metodologia

Este trabalho foi realizado em várias etapas: do estudo bibliográfico à análise estatística para a obtenção do modelo de regressão. Como etapas intermediárias tiveram-se a usinagem de corpos de provas, variando as condições de usinagem para, desta forma, obter superfícies com os mais diversos valores de rugosidade superficial, além da utilização do rugosímetro para a obtenção dos mais diversos parâmetros de rugosidade.

Para a realização das etapas necessárias à realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos: um torno mecânico para a usinagem dos corpos de prova, um rugosímetro para a obtenção dos parâmetros de rugosidade, um computador e software de estatística para análise dos dados.

As equações para estimação dos parâmetros de rugosidade máxima e total em função da rugosidade média foram obtidas a partir de modelos de regressão linear simples expressos da seguinte forma:

$$R_z = \alpha + \beta R_a + \varepsilon \quad (1)$$

$$R_y = \delta + \gamma R_a + \nu \quad (2)$$

Em que:

R_z = Rugosidade máxima

R_a = Rugosidade média

R_y = Rugosidade total

α e δ constantes do modelo

β coeficiente desconhecido que expressa a relação entre R_a e R_z

γ coeficiente desconhecido que expressa a relação entre R_a e R_y

ε e ν os erros aleatórios

Os modelos foram estimados através do software Eviews 5.0.

5 Resultados

A descrição dos modelos de regressão estimados para descrever os parâmetros de rugosidade a partir da variável rugosidade média pode ser observada através da Tab. (1)¹. Conforme verificado, os modelos obtidos mostraram-se capazes de explicar, em 96,5% e 90,5% o comportamento da rugosidade máxima e da rugosidade total, respectivamente, a partir da rugosidade média, sendo significativos a um nível de significância de 1%. Nos dois modelos pôde-se notar que a rugosidade média influencia positivamente os valores dos parâmetros analisados.

Tabela 1: Descrição dos modelos de regressão para estimação dos parâmetros de rugosidade máxima (R_z) e rugosidade total (R_y) a partir da rugosidade média (R_a)

| | | Valores estimados | Estatística "t" de Student | Nível de Significância | R ² | F | Nível de Significância |
|---------------------|-----------|-------------------|----------------------------|------------------------|----------------|-----------|------------------------|
| Modelo $R_z=f(R_a)$ | Constante | 1,667 | 4,309 | 0,000 | 0,965 | 2.485,590 | 0,000 |
| | β | 4,333 | 48,856 | 0,000 | | | |
| Modelo $R_y=f(R_a)$ | Constante | 1,088 | 1,291 | 0,200 | 0,905 | 865,466 | 0,000 |
| | γ | 5,570 | 29,419 | 0,000 | | | |

A partir dos coeficientes estimados foram estabelecidas as seguintes equações para estimação dos parâmetros de rugosidade a partir da rugosidade média:

¹ Os modelos foram estimados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e todos os pressupostos exigidos foram obedecidos: linearidade, média dos erros igual a zero $E(e) = 0$, homocedasticidade, normalidade dos erros, ausência de autocorrelação.

5.1 Rugosidade máxima (R_y) x Rugosidade média (R_a)

$$R_y = 1,667 + 4,33 \cdot R_a \quad (3)$$

O aumento de 1 μm na rugosidade média provoca um aumento de 4,33 μm na rugosidade máxima.

5.2 Rugosidade total (R_t) x Rugosidade média (R_a)

$$R_t = 1,088 + 5,70 \cdot R_a \quad (4)$$

O aumento de 1 μm na rugosidade média provoca um aumento de 5,70 μm na rugosidade total.

Com base nas lições encontrada em Montgomery(2001) e Ara (2006), os modelos de regressão apreciados para descrever os parâmetros de rugosidade R_t e R_y a partir da variável rugosidade média R_a são plenamente capazes de explicar o comportamento da rugosidade máxima e da rugosidade total.

6 Conclusões

O modelo matemático apresentado neste trabalho, por meio das equações 3 e 4, mostradas acima, demonstra ser eficaz para estimar, com alto grau de confiabilidade, os parâmetros de rugosidade total e rugosidade máxima, a partir do parâmetro de rugosidade média R_a .

Os resultados estimados por meio das equações têm mostrado, quando comparado com os valores obtidos por meio do rugosímetro, são extremamente satisfatórios e, desta forma, validam o modelo matemático, objeto deste trabalho.

Referências

- ARA, A. B. *Introdução à estatística*. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 152 p.
- DA SILVA, R. H. L.; SOUTO U. B.; DA SILVA, M. B. *Estudo do desgaste de ferramenta de corte e rugosidade superficial com o auxílio da emissão acústica no fresamento*. Disponível em: <http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/Edicao%202006_1/C/rodrigo_henrique.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2007>.
- MONTGOMERY, D. C. *Introduction to statistical quality control*. New York: Wiley, 2001. 706 p.
- ROSSI, G. C. *Relação entre os parâmetros de corte e rugosidade da superfície usinada numa operação de fresamento de topo*. São Paulo: Ed. USP, 2003. 37 p.
- TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. *Metal cutting*. Butterworths, US: TRE/1, 2000. 446 p.

SOBRE OS AUTORES

Francisco Elicivaldo Lima

Engenheiro Mecânico, Mestre e Doutor em Processos de Fabricação. Atualmente é professor titular do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza.

Maurício Corrêa

Engenheiro Mecânico, Com Mestrado e Doutorado em Processos de Fabricação. Atualmente ocupa o cargo coordenador e professor do curso de Engenharia de Produção da Universidade Paulista.

