



AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO AVANÇO NA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO AÇO 1020 TORNEADO

Ithyara Dheylle Machado de Medeiros¹, Aleksandro Guedes de Lima², Laurivan da Silva Diniz², Kelly Cristiane Gomes³, Aline Karla Barbosa da Silva⁴

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPB – João Pessoa – Brasil, ithyaramachado@gmail.com

²Professores do Departamento de Tecnologia em Automação Industrial do Instituto Federal da Paraíba – IFPB

³Professora do Departamento de Engenharia de Energias Alternativas e Renováveis - DEER da Universidade Federal da Paraíba – UFPB

⁴Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Recebido em: 22/09/2018 – Aprovado em: 23/11/2018 – Publicado em: 03/12/2018
DOI: 10.18677/EnciBio_2018B113

RESUMO

O torneamento é uma operação de usinagem comumente usada na indústria, produzindo uma variedade de componentes, atendendo aos requisitos de alta precisão e confiabilidade. Sendo um processo que merece ser cuidadosamente estudado em função dos desafios que apresenta e das possibilidades de otimização ainda a serem descobertas. A indústria da usinagem vem constantemente se esforçando para aumentar a qualidade das peças usinadas, com esse objetivo a rugosidade superficial tem destaque por desempenhar um papel importante em muitas áreas e ser um fator essencial na evolução da precisão dimensional dos componentes de usinagem. Logo, a seleção dos parâmetros de usinagem mais adequados para a obtenção de uma rugosidade superficial apropriada para determinada função é um ponto que precisa ser mais estudado. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar a influência do avanço na rugosidade superficial do aço 1020 submetido ao processo de torneamento externo. Para isso foram utilizados quatro valores de avanço (0,07; 0,12; 0,17 e 0,22 mm/rot) enquanto os demais parâmetros de corte foram mantidos constantes. Através da técnica de Perfilometria óptica, os valores do parâmetro de rugosidade média (Ra) foram comparados entre si e com os valores esperados pela literatura. As imagens em 3D possibilitaram a visualização da superfície da peça após ter sido torneada. Sendo possível concluir que realizar estimativas do valor de rugosidade em função de modelos teóricos pode levar a uma avaliação errônea dos valores previstos mínimos de rugosidade para componentes usinados, uma vez que vários fatores inerentes ao processo são desconsiderados.

PALAVRAS-CHAVE: avanço, rugosidade, torneamento,

EVALUATION OF THE ADVANTAGE INFLUENCE ON THE SURFACE RUGOSITY OF STEEL 1020 TURNED

ABSTRACT

Turning is a machining operation commonly used in the industry, producing a variety of components, meeting the requirements of high accuracy and reliability. Being a process that deserves to be carefully studied due to the challenges it presents and the optimization possibilities still to be discovered. The machining industry has been constantly striving to increase the quality of machined parts. To this end, surface roughness has played an important role in many areas and is a key factor in the evolution of the dimensional accuracy of machining components. Therefore, the selection of the most suitable machining parameters to obtain an appropriate surface roughness for a certain function is a point that needs to be further studied. Thus, the present study aimed to evaluate the influence of the advance on the surface roughness of 1020 steel subjected to the external turning process. For this, four feed rates (0.07, 0.12, 0.17 and 0.22 mm/rot) were used while the other cutting parameters were kept constant. Through the technique of optical profilometry, the values of the average roughness parameter (Ra) were compared with each other and with the values expected in the literature. The 3D images made it possible to see the surface of the part after it has been turned. It is possible to conclude that making estimates of the roughness value in function of theoretical models can lead to an erroneous evaluation of the minimum predicted values of roughness for machined components, since several factors inherent to the process are disregarded.

KEYWORDS: feed rate, roughness, turning.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, as operações de acabamento são feitas usando métodos abrasivos, como a retificação, mas a melhoria dos centros de usinagem e ferramentas de corte está facilitando o uso de processos de usinagem caracterizados pela geometria definida da aresta de corte (FERREIRA et al., 2016).

Nesse sentido, o torneamento é uma operação de usinagem comumente usada na indústria, produzindo uma variedade de componentes, atendendo aos requisitos de alta precisão e confiabilidade (NITHYANANDAM; PALANIKUMAR, 2015). As vantagens do processo incluem a redução do custo por produto, bom acabamento superficial, alta produtividade e redução dos tempos de *setup* (FERREIRA et al., 2016). Sendo um processo que merece ser cuidadosamente estudado em função dos desafios que apresenta e das possibilidades de otimização ainda a serem descobertas.

No processo de torneamento, o movimento principal da máquina operatriz produz o movimento de corte na peça. Enquanto que o avanço é o movimento relativo da ferramenta sobre a peça para cada curso da máquina e é expresso em mm por curso (ou revolução). Já a velocidade de corte é a velocidade periférica ou superficial da peça em relação à ferramenta e, no caso mais geral do torneamento é expressa, em metros por minuto (DINIZ et al., 2013), segundo a Equação 1:

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000}$$

Equação 1

Onde:

V_c = velocidade de corte, em m/min

D = diâmetro da peça, em mm

n = número de revoluções por minuto

Por fim, a profundidade de corte (ap em mm) é a distância entre a superfície não cortada da peça e o fundo do corte, medida numa direção em ângulo reto à superfície de trabalho da peça (CHIAVERINI, 1986). A otimização desses parâmetros de corte geralmente é um trabalho difícil, onde são necessários conhecimentos de equações empíricas relacionadas à vida útil da ferramenta, forças de corte, rugosidade superficial e consumo de energia elétrica. A rugosidade da superfície é conhecida por desempenhar um papel importante em muitas áreas e é um fator de grande importância na evolução da precisão dimensional dos componentes de usinagem (NITHYANANDAM; PALANIKUMAR, 2015).

A rugosidade aritmética ou média (R_a) é de longe o método mais usado para indicação da rugosidade, ela corresponde à média dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média no comprimento de amostragem (ABNT, 2002). Este parâmetro pode ser melhor compreendido pela Figura 1. As equações referentes a esse parâmetro estão expressas nas Equações 2 e 3.

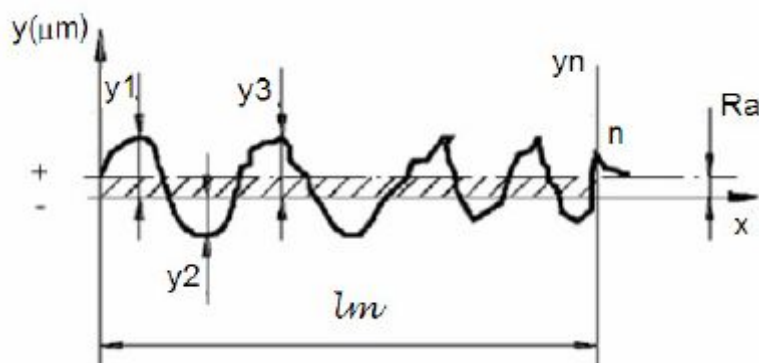


FIGURA 1 Rugosidade aritmética ou média (R_a) (PIRATELLI FILHO, 2011).

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y| dx = \frac{A}{L} \quad \text{Equação 2}$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y| \quad \text{Equação 3}$$

Em função do emprego em escala mundial do padrão de medição da rugosidade ser atribuído ao valor “ R_a ”, tem-se uma relação teórica da rugosidade “ R_a ” de acordo com a Equação 4 (GILLIBRAND et al., 1996).

$$R_a = 0,0321 \frac{f^2}{r_f} \quad \text{Equação 4}$$

Dessa forma, teoricamente o acabamento da peça está associado a relação entre o avanço e o raio de ponta da ferramenta, esse par “ f/r ” tem uma grande contribuição geométrica à rugosidade da peça (SOUZA et al., 2010). A indústria da usinagem vem constantemente se esforçando para diminuir seus custos de corte e aumentar a qualidade das peças usinadas, juntamente com a redução dos riscos à saúde do operador e do impacto ambiental, à medida que a demanda por tecnologia mais limpa está aumentando rapidamente (DUREJA et al., 2015).

A seleção da geometria adequada da ferramenta é útil para obter uma boa rugosidade superficial, mas também deve ser dada atenção à seleção dos parâmetros de usinagem. No torneamento, a modelagem e a previsão de forças de corte, o desgaste da ferramenta e a qualidade da superfície são de grande importância. Para isso, é importante entender a influência dos parâmetros de usinagem nas diferentes saídas do processo de torneamento (FERREIRA et al., 2016).

A importância da rugosidade da superfície alcançada nos processos de usinagem é amplamente reconhecida e, geralmente, é usada como um índice da qualidade do produto. Nesse sentido, parâmetros como a rugosidade média da superfície (Ra) e a altura da superfície (Rz) são amplamente utilizados em indústrias para caracterizar superfícies mecânicas. A rugosidade da superfície é importante por razões funcionais e mecânicas, assim superfícies rugosas geralmente desgastam mais rapidamente que superfícies melhoradas (HORVÁTH et al., 2014).

Asiltürk et al. (2016) realizaram a modelagem de dados experimentais da rugosidade superficial da liga médica $Co_{28}Cr_6Mo$ usinada em um torno de Comando Numérico Computadorizado (CNC) com base nos parâmetros de corte (velocidade de rotação do eixo, taxa de avanço, profundidade de corte e raio da ponta da ferramenta). Verificaram que, para Ra, 38% dos parâmetros mais eficazes estão no raio da ponta da ferramenta, seguidos por 33% no avanço. Para obter a mínima rugosidade superficial, os valores ótimos obtidos para a velocidade do fuso, avanço, profundidade de corte e raio da ponta da ferramenta foram, respectivamente, 318 rpm; 0,1 mm/rot; 0,7 mm e 0,8 mm.

Gamarra e Diniz (2018) buscaram obter a melhor combinação de estratégias de usinagem, envolvendo geometrias e avanços da ferramenta, visando longa vida útil e alta produtividade, aliada à menor rugosidade superficial possível. Para atingir este objetivo, realizaram o processo de torneamento em aços inoxidáveis super duplex utilizando duas estratégias de usinagem (corte longitudinal e cônico), duas geometrias de pastilhas intercambiáveis e diferentes avanços. A condição utilizando o inserto convencional em corte longitudinal com baixa taxa de avanço apresentou a maior vida útil entre todas as condições testadas, com baixos valores de rugosidade.

Das et al. (2016) buscaram determinar o efeito dos parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço e profundidade de corte) na força de corte e rugosidade superficial. Os resultados mostram que a velocidade de avanço e corte influenciam fortemente a rugosidade da superfície; enquanto a profundidade de corte é o principal fator significativo que afeta a força de corte seguida do avanço.

Pelos estudos relatados na literatura, percebe-se que são vários os fatores inerentes ao processo de torneamento que podem intervir na rugosidade superficial da peça que está em processo de acabamento, além disso são inúmeros os materiais que são constantemente submetidos a esse tipo de processo industrialmente. De forma que, existe a necessidade de pesquisar a contribuição dos parâmetros de corte sobre a rugosidade superficial. Pelo exposto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a influência do avanço na rugosidade superficial do aço 1020 submetido ao processo de torneamento externo.

MATERIAL E MÉTODOS

Torno CNC

O torno utilizado foi o Nardini Diplomat LOGIC 195 III, conforme Figura 2.



FIGURA 2 Torno CNC Nardini Diplomat LOGIC 195 III

Material torneado

O material utilizado para o torneamento foi o aço AISI 1020. Para concretizar o objetivo do presente estudo foram cortados quatro tarugos que após o processo de torneamento externo tiveram a rugosidade superficial avaliada. Os tarugos e o resultado visual da superfície do material torneado podem ser visualizados na Figura 3.



FIGURA 3 (a) Tarugos de aço 1020, (b) Aço após o torneamento externo.

Parâmetros do torneamento

A velocidade de corte (V_c) foi mantida constante, de forma que com a variação do diâmetro do tarugo, a rotação sofria modificação a fim de manter a constância da V_c , conforme a Equação 1. A velocidade superficial linear, a rotação máxima, a profundidade de corte e o raio de ponta da ferramenta foram, respectivamente, 430 m/min, 3000 rpm, 0,3 mm e 0,8 mm. O sistema não foi submetido a arrefecimento (não houve aplicação de fluido de corte).

O torneamento foi realizado modificando o avanço em cada uma das peças torneadas, porém mantendo constante os demais parâmetros citados acima, de forma que foram obtidas o conjunto de amostras listadas no quadro 1.

QUADRO 1 Avanços adotados no presente estudo

Amostra	Avanço (f) [mm/rot]
Peça 1	0,07
Peça 2	0,12
Peça 3	0,17
Peça 4	0,22

Ferramenta de corte

A ferramenta de corte utilizada para o torneamento de acabamento do presente estudo foi a SANDVIK Coromant VBMT 16 04 08 – PF 4225 fabricada em metal duro de classe P. A geometria da ferramenta pode ser observada na Figura 4.

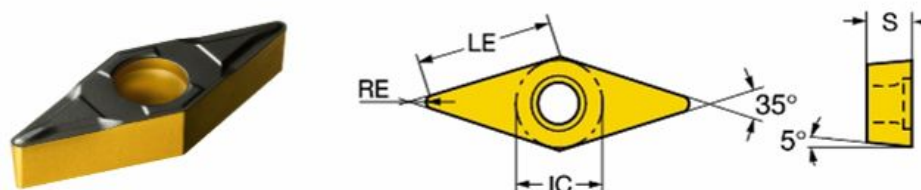


FIGURA 4 Especificações da pastilha VBMT 16 04 08 – PF 4225 (SANDVIK, 2017).

As especificações técnicas estão listadas no quadro 2.

QUADRO 2 Especificações técnicas da pastilha utilizada (SANDVIK, 2017).

Abreviatura	Significado da abreviatura	Dimensão [mm]
LE	Comprimento efetivo da aresta de corte	15,806
RE	Raio do canto	0,794
IC	Diâmetro do círculo inscrito	9,525
S	Espessura da pastilha	4,763

Os parâmetros de corte recomendados para a pastilha utilizada estão listados no quadro 3.

QUADRO 3 Parâmetros de corte recomendados para a pastilha utilizada. (SANDVIK, 2017).

Parâmetro	Faixa de valores recomendados	Valor médio
ap	0,15 – 2 mm	0,4 mm
fn	0,07 – 0,24 mm/rot	0,13 mm/rot
Vc	490 – 385 m/min	450 m/min

Técnica de caracterização da peça torneada

A determinação da rugosidade superficial das peças torneadas, assim como as imagens em três dimensões (3D) das superfícies submetidas ao processo de torneamento foram obtidas pela técnica de Perfilometria óptica utilizando o aparelho de perfilometria óptica sem contato CCI MP, fabricado pela Taylor Hobson, conectado a uma unidade computadorizada contendo o software Talysurf CCI (Taylor Hobson, Inglaterra) para obtenção e análise dos dados, conforme pode ser visualizado na Figura 5.



FIGURA 5 Equipamento para análise por Perfilometria óptica

Em cada uma das peças torneadas foram realizadas sete leituras do parâmetro Ra da rugosidade. Essa leitura foi uniformemente espaçada ao longo de todo o comprimento da superfície torneada a fim de obter uma curva representativa da rugosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva do parâmetro Ra da rugosidade superficial medida em cada uma das peças torneadas está exposto na Figura 6.

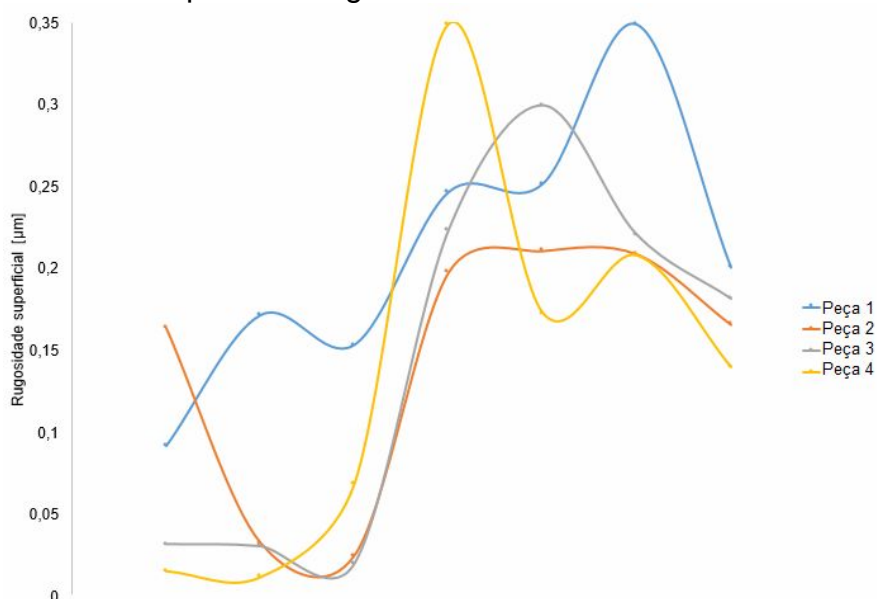


FIGURA 6 Curva do parâmetro Ra de cada peça torneada.

A partir de cada uma das sete leituras efetuadas sobre as quatro peças torneadas foi realizada a média e os valores calculados podem ser observados no quadro 4. No quadro 4 também estão expostos os valores esperados para o parâmetro Ra em função do avanço e do raio de ponta da ferramenta empregada, conforme a Equação 4.

QUADRO 4 Ra médio das peças torneadas.

Nome da amostra	Ra médio [μm]	Ra teórico [μm]
Peça 1	0,2096	0,1966
Peça 2	0,1438	0,5778
Peça 3	0,1444	1,1596
Peça 4	0,1381	1,9421

Pela Figura 6 e quadro 4 nota-se que o aumento do avanço de 0,07 mm/rot (Peça 1) para 0,12 mm/rot (Peça 2) fez com que o Ra caísse, e em seguida, o aumento de 0,12 mm/rot para 0,17 mm/rot (Peça 3) e 0,22 mm/rot (Peça 4) não teve grandes alterações no parâmetro Ra. Também é possível observar que o esperado teoricamente era que o parâmetro Ra aumentasse com a elevação do avanço da ferramenta.

Apesar do esperado teoricamente não ter se comprovado na prática do presente estudo, essa queda na rugosidade superficial com o aumento do avanço, observada no quadro 4, também foi relatada em trabalhos na literatura, como o de Deshpande et al. (2017) que ao estimarem a rugosidade superficial no torneamento de Inconel 718 com pastilhas de metal duro utilizando parâmetros de corte juntamente com força de corte, som e vibração perceberam que, ao realizarem o torneamento com velocidade de corte de 60 m/min, o aumento do avanço de 0,01 mm/rot para 0,115 mm/rot fez com que a rugosidade superficial caísse de 0,99 μm para 0,93 μm , respectivamente.

Casos em que o aumento do avanço não proporcionou a elevação do parâmetro Ra também foi obtido por Coppini et al. (2018) que tendo por objetivo medir e analisar a rugosidade da superfície da peça de trabalho e o desgaste das arestas de corte utilizadas no processo de torneamento interno, determinaram que variando o avanço da ferramenta (0,08; 0,09 e 0,10 mm/rot) o valor de Ra variava. Porém, o aumento do avanço não causou o aumento do Ra em todos os testes. Isso foi justificado pelo fato da velocidade de corte também ter apresentado influência sobre a rugosidade, uma vez que quando a velocidade de corte mais alta foi usada, o aumento do avanço causou o aumento da rugosidade da superfície, e em velocidades mais baixas ocorreu o contrário.

O trabalho de Das et al. (2016) enfocou a finalização do torneamento a seco do aço AISI 52100 com a ferramenta CBN, empregando técnicas combinadas para determinar o efeito dos parâmetros de corte na força de corte e rugosidade superficial da peça trabalhada. Concluíram que ao modificarem o valor do avanço (0,08; 0,12 e 0,16 mm/rot) o aumento do mesmo provocava o aumento do parâmetro Ra, esse fato foi verificado quando a velocidade era mantida constante. No entanto, ao elevar simultaneamente o avanço e a velocidade de corte, o aumento do avanço

só influenciava no aumento do Ra até certo ponto, uma vez que em altas velocidades (200 m/s) não mais promovia a elevação de Ra.

Com o exposto acima, pode ser que a velocidade de corte, do presente estudo, tenha sido um dos fatores de influência no resultado da rugosidade medida, uma vez que a velocidade adotada (430 m/min) é considerada elevada. Logo, o avanço não seria o único responsável pela variação do parâmetro Ra.

Além disso, fatores tais como a vibração do sistema máquina-ferramenta-peça e as forças envolvidas no processo de torneamento, como estudado por Deshpande et al. (2017) e Das et al. (2016) podem ter contribuído para o resultado da rugosidade superficial obtida. Associado ao fato do torneamento ter sido desenvolvido sem o emprego de fluido de corte, o que aumenta o desgaste da ferramenta e o calor gerado no processo (DINIZ et al., 2013). Além do valor do parâmetro Ra da rugosidade, foram obtidas imagens em 3D da superfície torneada das peças usinadas, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

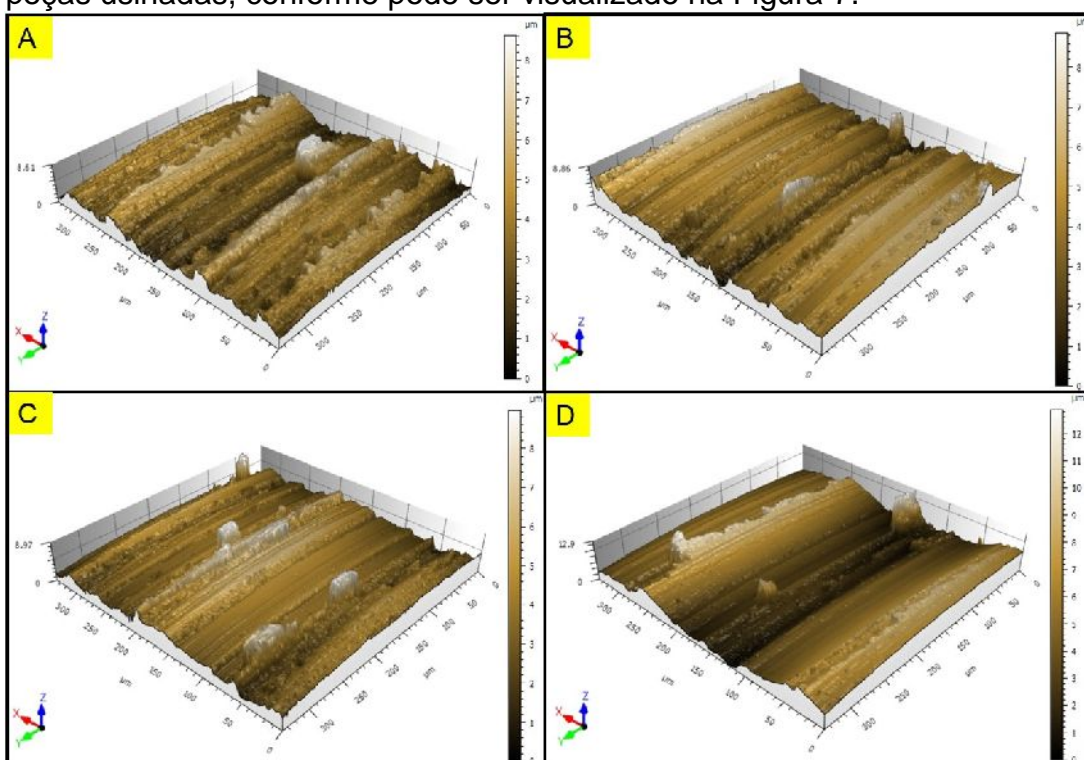


FIGURA 7 Imagens em 3D das peças torneadas. (a) Peça 1; (b) Peça 2; (c) Peça 3; (d) Peça 4.

Por meio da Figura 7 percebem-se marcas relativas ao avanço da ferramenta ao longo do material, deformações plásticas referentes ao contato peça-ferramenta, nas quais é visível o formato do raio de ponta da ferramenta de corte (principalmente na Peça 4). Grzesik (2017) também utilizou imagens por perfilometria para visualizar a superfície da peça torneada e obteve características superficiais semelhantes as expostas na Figura 7.

CONCLUSÃO

O presente estudo procurou avaliar a influência do avanço da ferramenta de corte no processo de torneamento cilíndrico externo do aço 1020, uma vez que, teoricamente, este é um dos parâmetros que mais interfere no comportamento da rugosidade superficial da peça torneada. Alguns dos possíveis fatores que causaram

interferência no valor da rugosidade fazendo com que o valor medido não fosse o esperado pela equação da literatura (Equação 4) foram:

- A velocidade de corte;
- A ausência do fluido de corte;
- Vibração do sistema máquina-ferramenta-peça;
- Forças de usinagem.

Dessa forma, é possível concluir que realizar estimativas do valor de rugosidade em função de modelos teóricos pode levar a uma avaliação errônea dos valores previstos mínimos de rugosidade para componentes usinados, uma vez que vários fatores inerentes ao processo são desconsiderados.

REFERÊNCIAS

ASILTÜRK, I.; NE ELI, S.; INCE, M. A. Optimisation of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the Taguchi and RSM methods. **Measurement**, v. 78, p. 120-128, 2016. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224115005217> >. DOI: 10.1016/j.measurement.2015.09.052.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas . **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**, v. 2, Processos de Fabricação e Tratamento. São Paulo: McGrawHill, 1986.

COPPINI, N. L.; DINIZ, A. E.; LACERDA, F. S.; BONANDI, M.; BAPTISTA, E. A. Internal turning of sintered carbide parts: tool wear and surface roughness evaluation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 40, n. 4, p. 216, 2018. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-018-1139-z> >. DOI: 10.1007/s40430-018-1139-z.

DAS, S. R.; KUMAR, A.; DHUPAL, D. Experimental investigation on cutting force and surface roughness in machining of hardened AISI 52100 steel using cBN tool. **International Journal of Machining and Machinability of Materials**, v. 18, n. 5-6, p. 501-521, 2016. Disponível em: < <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMMM.2016.078997>>. DOI: 10.1504/IJMMM.2016.078997.

DESHPANDE, Y.; ANDHARE, A.; SAHU, N. K. Estimation of surface roughness using cutting parameters, force, sound, and vibration in turning of Inconel 718. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 39, n. 12, p. 5087-5096, 2017. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-017-0819-4>>. DOI: 10.1007/s40430-017-0819-4.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. Artliber Editora, 2013.

DUREJA, J. S.; SINGH, R.; SINGH, T.; SINGH, P.; DOGRA, M.; BHATTI, M. S. Performance evaluation of coated carbide tool in machining of stainless steel (AISI 202) under minimum quantity lubrication (MQL). **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 2, n. 2, p. 123-129, 2015. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-015-0016-9>>. DOI: 10.1007/s40684-015-0016-9.

FERREIRA, R.; EHO, J.; LAURO, C. H.; CAROU, D.; DAVIM, J. P. Analysis of the hard turning of AISI H13 steel with ceramic tools based on tool geometry: surface roughness, tool wear and their relation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 38, n. 8, p. 2413-2420, 2016. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-016-0504-z>>. DOI: 10.1007/s40430-016-0504-z.

GAMARRA, J.R.; DINIZ, A.E. Taper turning of super duplex stainless steel: tool life, tool wear and workpiece surface roughness. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 40, n. 1, p. 39, 2018. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-018-0991-1>>. DOI: 10.1007/s40430-018-0991-1.

GILLIBRAND, D.; SARWAR, M.; PIERCE, C. T. The economic benefit of finish turning with coated carbide. **Surface and Coatings Technology**, v. 86, p. 809-813, 1996. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897296030599>>. DOI: 10.1016/S0257-8972(96)03059-9.

GRZESIK, W. Prediction of surface topography in precision hard machining based on modelling of the generation mechanisms resulting from a variable feed rate. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, n. 9-12, p. 4115-4123, 2018. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-017-1129-9>>. DOI: 10.1007/s00170-017-1129-9.

HORVÁTH, R.; CZIFRA, Á. DRÉGELYI-KISS, Á. Effect of conventional and non-conventional tool geometries to skewness and kurtosis of surface roughness in case of fine turning of aluminium alloys with diamond tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 78, n. 1-4, p. 297-304, 2015. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-014-6642-5>>. DOI: 10.1007/s00170-014-6642-5.

PIRATELLI FILHO, A.; **Rugosidade Superficial**. Terceiro Seminário de Metrologia. Brasília: UnB: 2011. Faculdades de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2011.

NITHYANANDAM, J.; DAS, S.L.; PALANIKUMAR, K. Influence of cutting parameters in machining of titanium alloy. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, n. S8, p. 556-562, 2015. Disponível em: <

<http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/71291>>. DOI:
10.17485/ijst/2015/v8iS8/71291.

SANDVIK COROMANT. **Ferramentas para torneamento**, 2017. Disponível em: <
<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/downloads>>.

SOUZA, M.S.; LAURO, C.H.; BRANDÃO, L.C.; Análise da rugosidade em função da velocidade de avanço em operações de torneamento. In: congresso nacional de engenharia mecânica, 6., 2010, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: 2010.