



ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03
de dezembro 2021

Análise da qualidade do acabamento superficial produzido por fresamento de faceamento por meio de múltiplos parâmetros de rugosidade

Lucas Ganzer Gobbi

Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Aldo Braghini Junior

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa,
Paraná, Brasil

Resumo: A usinagem é o processo de fabricação mais utilizado dentro da indústria metal mecânica, por oferecer um excelente acabamento superficial, juntamente com uma boa precisão dimensional e geométrica. Dentre os vários processos de usinagem, se destaca o processo de fresamento, sendo o segundo mais utilizado na indústria. Muitos pesquisadores tem desenvolvido pesquisas que avaliam o acabamento superficial do material usinado em diferentes condições de usinagem, porém poucos avaliam outros parâmetros de rugosidade além do R_a e utilizam ferramentas de corte de geometria diferente. Frente a isso, a presente pesquisa tem o objetivo de comparar o acabamento superficial produzido por ferramentas com geometria diferentes durante todo o seu tempo de vida, utilizando diversos parâmetros de rugosidade. Os experimentos de fresamento de faceamento foram realizados em um aço ABNT 1045, variando o avanço por aresta de corte e o tipo de ferramenta. As medições de rugosidade foram realizadas utilizando um rugosímetro. Cada parâmetro de rugosidade variou de forma particular com a mudança de condição de usinagem. Os dados obtidos mostraram que o avanço por aresta de corte e o tipo de ferramenta utilizada tem influência na rugosidade.

Palavras-chave: Usinagem, Fresamento, Acabamento superficial, Rugosidade.

Analysis of the quality of the surface finish produced by face milling using multiple roughness parameters

Abstract: Machining is the most used manufacturing process within the metal mechanic industry, as it offers an excellent surface finish, together with good dimensional and geometric precision. Among the various machining processes, the milling process stands out, being the second most used in the industry. Many researchers have developed researches that evaluate the surface finish of the machined material under different machining conditions, but few evaluate other roughness parameters besides R_a and use cutting tools with different geometry. In view of this, this research aims to compare the surface finish produced by tools with different geometry throughout their lifetime, using different roughness parameters. The face milling experiments were carried out on an ABNT 1045 steel, varying the feed per cutting edge and the type of tool. Roughness measurements were performed using a rugosimeter. Each roughness parameter varied in a particular way with the

change of machining condition. The data obtained showed that the feed per cutting edge and the type of tool used has an influence on the roughness.

Keywords: Machining, Milling, Surface finishing, Roughness

1. Introdução

As empresas, dos mais diversos setores, devem desdobrar-se para manter os atuais clientes e conquistar novos clientes considerando que os mercados estão cada vez mais competitivos. Um dos aspectos fundamentais que devem ser considerados, para o bom desempenho das empresas, é a qualidade dos produtos e processos. Na busca pelos mais altos índices de qualidade, necessários para atender os clientes mais exigentes, as empresas buscam reavaliar e continuamente aprimorar os seus processos de produção, possibilitando dessa forma manterem-se competitiva (SILVA, 2014). Este cenário certamente aplica-se a indústria metal-mecânica, onde a qualidade dos processos de fabricação mecânica é peça chave neste tipo de indústria.

Um processo de fabricação mecânica busca produzir peças de acordo com especificações de seu projeto, buscando a melhor qualidade possível. Dentre os processos utilizados para fabricar peças, a usinagem é o mais utilizado e é o que oferece um melhor acabamento superficial. A maioria dos produtos da indústria metal-mecânica passa por um processo de usinagem em algum momento de sua manufatura. Essa grande utilização dos processos de usinagem deve-se à possibilidade de gerar uma grande variedade de geometrias, juntamente com um excelente acabamento superficial e boa precisão dimensional e geométrica. O acabamento superficial de uma peça mecânica é uma especificação de projeto importante e pode ser representado pela variação do relevo na superfície de determinada peça, também conhecida como rugosidade (STEPHENSON; AGAPIOU, 2016).

O fresamento é o segundo processo de usinagem mais utilizado, atrás somente do torneamento. Com este processo, pode-se gerar uma variada gama de geometrias utilizando fresadoras ou centros de usinagem com diversos graus de liberdade, podendo produzir desde superfícies planas até peças mais complexas, como engrenagens. Outras vantagens do processo de fresamento são a qualidade do acabamento superficial juntamente com uma alta taxa de remoção de cavaco (TRENT; WRIGHT, 2000)

De acordo com Diniz et. Al (2010), o faceamento é a operação de fresamento mais comum, que tem como objetivo gerar superfícies planas nas peças. Pode ser realizado com uma ampla gama de ferramentas, porém as mais utilizadas são as fresas com ângulo de posição de 45°, por possuírem uma superfície secundária de corte, também chamada de superfície alisadora, que auxilia no acabamento superficial da peça.

Com o desenvolvimento do mercado tecnológico e as diferentes necessidades advindas dos processos de usinagem, fizeram com que surgissem uma variedade de ferramentas de corte para fresamento de faceamento que podem realizar tanto operações de desbaste quanto operações de acabamento, como os insertos de geometria redonda. No entanto, estes não são usados com tanta frequência quanto as ferramentas com ângulos de posição de 45°.

Portanto, o objetivo deste trabalho é comparar o fresamento produzido por uma ferramenta com ângulo de posição de 45° com uma de geometria redonda, sob diferentes condições de usinagem. A forma de avaliação por meio da comparação dos parâmetros de rugosidade R_a , R_v , R_p , R_{sk} e R_{sku} . Foi utilizado mais de um parâmetro para avaliação para se ter uma ideia mais abrangente do que cada ferramenta pode proporcionar, uma vez que R_a representa um valor médio da rugosidade da superfície em relação a uma linha média,

enquanto R_v e R_p correspondem a maior profundidade de vale e de pico em relação a uma linha média, respectivamente. Outros parâmetros de rugosidade analisados foram o fator de achatamento do perfil (R_{sku}), que é um parâmetro que irá informar se o relevo na superfície da peça é mais pontiagudo ou achatado, e o fator de assimetria (R_{sk}), que irá informar se o perfil apresenta predominância de picos ou de vales.

2. Metodologia

Esta secção aborda os procedimentos, os equipamentos e os métodos utilizados para alcançar o objetivo da presente pesquisa.

2.1 Corpo de prova

O processo de fresamento foi realizado em bloco de aço ABNT 1045 medindo 150x250x500mm. Este material foi utilizado por possuir ampla utilização no cenário industrial.

Como se trata de um bloco grande e pesado, o manuseio e transporte se tornam bastante difíceis, tornando a opção de transportar o bloco usinado até o rugosímetro inviável. Portanto, para resolver esse problema, foram fabricadas amostras do mesmo material, com dimensões que possibilitassem um fácil transporte até o rugosímetro. As amostras mediam 48x60x18mm. Estas amostras possibilitaram a medição dos valores de rugosidade do material usinado no rugosímetro, pois ao final de cada tempo efetivo de corte preestabelecido no pré-teste, foi realizado um passe de fresamento em uma amostra com o intuito de reproduzir a superfície gerada no bloco.

2.2 Ferramentas de corte e cabeçotes de fresamento

Para os ensaios de fresamento foram utilizados dois modelos de insertos e cabeçotes para faceamento de acabamento. Portanto, o primeiro conjunto é formado pelo inserto redondo e seu respectivo cabeçote (ferramenta X). O inserto redondo com ângulo de posição de 21° para a profundidade de corte axial de 1,5mm (código RCKT-1204MO-PM 4230) é de metal duro classe ISO P30 e possui 12mm de diâmetro, foi montado em um cabeçote de fresamento (código R200-068Q27-12L), com 68mm de diâmetro. O segundo conjunto foi formado pelo inserto de geometria quadrada e ângulo de posição de 45° e seu respectivo cabeçote (ferramenta Y). O inserto quadrado (código 345R-1305M-PM 4240) é de metal duro classe ISO P40 e foi montado em um cabeçote de fresamento (código 345-063Q22-13L) de 63mm de diâmetro.

Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de utilização de alguns parâmetros de corte, informadas pelo fabricante, de ambas as ferramentas.

Tabela 1- Parâmetros de corte recomendados pelo fabricante das ferramentas de corte

	Velocidade de corte (v_c) [m/min]	Avanço por aresta de corte (f_z) [mm/aresta de corte]	Profundidade de corte axial máxima ($a_{p,max}$) [mm]
INSERTO REDONDO	245 - 360	0,1 – 0,28	1,76
INSERTO QUADRADO	205 - 305	0,16 – 0,4	6

Fonte: Autoria própria

Analisando a Tabela 1, nota-se que as ferramentas operam em valores coincidentes para determinados intervalos dos parâmetros de corte. Também, ambas as ferramentas são da

classe ISO P, que podem ser utilizados para o fresamento de faceamento do aço ABNT 1045.

2.3 Máquina-ferramenta

Os ensaios foram realizados em uma fresadora universal da fabricante CLARK MACHINE, modelo FH 4.

Por tratar-se de uma fresadora universal, seus parâmetros de corte são limitados. Portanto, os valores dos parâmetros de corte velocidade de corte e avanço por aresta de corte utilizados no experimento foram aqueles disponibilizados pela fresadora e que estão dentro da faixa de valores recomendada pelo fabricante das ferramentas.

2.4 Rugosímetro

Para medição dos parâmetros de rugosidade da superfície usinada, foi usado um rugosímetro modelo SJ-410 da fabricante *Mitutoyo*, combinado com uma base de granito.

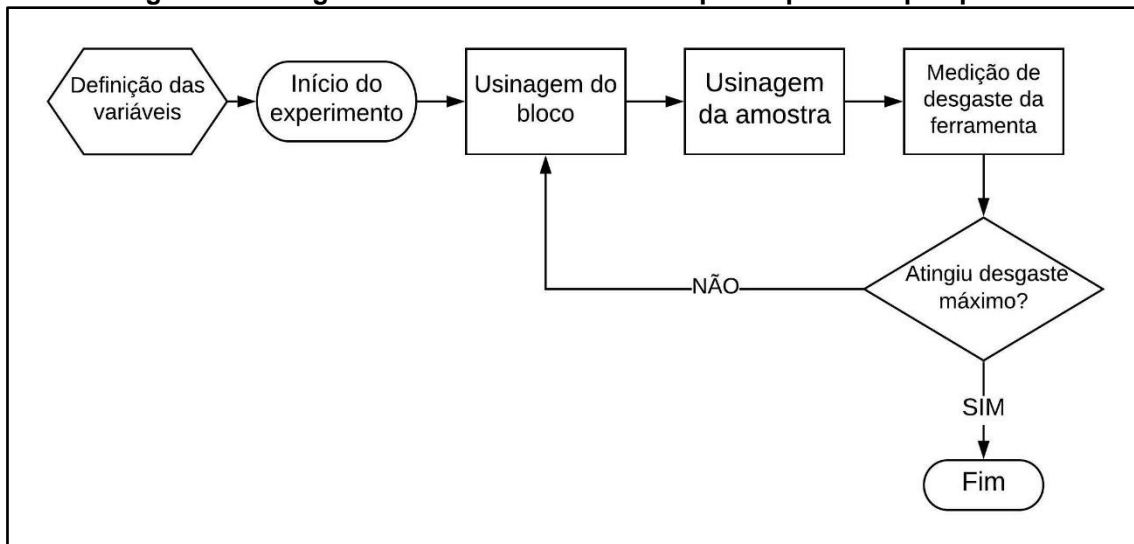
Para aumentar a confiabilidade nos valores de rugosidade obtidos, foram realizadas seis medições em cada amostra, todas elas perpendiculares a direção do avanço.

2.5 Planejamento experimental

O planejamento experimental está dividido em operações de fresamento de acabamento concordante de uma superfície sem interrupções, com o avanço por aresta de corte (f_z) variando em dois níveis e com dois tipos de ferramentas, com a profundidade de corte radial (a_e), velocidade de corte (v_c) e profundidade de corte axial (a_p) constantes e sem o uso de fluido de corte. Os experimentos foram realizados de forma aleatória com réplica e, se necessária tréplica, para confirmação dos resultados.

A Figura 1 mostra como a experimentação foi executada.

Figura 1- Fluxograma dos ensaios realizados para a presente pesquisa.



Fonte: Autoria própria

O fresamento foi realizado por um tempo efetivo de corte de aproximadamente 6 minutos, determinado previamente em pré-testes realizados, seguido da impressão da amostra para registro da rugosidade. Logo após a amostra fresada era retirada e substituída por uma nova e a ferramenta era retirada da máquina e levada ao microscópio estereoscópico para medição do desgaste de flanco máximo. Se o desgaste fosse maior ou igual ao limite estabelecido, que era de 200 μ m, seguia-se para o ensaio com a condição seguinte, se não, a ferramenta era montada novamente no seu cabeçote de fresamento para mais um intervalo de usinagem. As amostras que representavam a rugosidade da peça a cada

determinado tempo, foram armazenadas e analisadas somente após o fim de todos os experimentos.

Devido a fresadora utilizada nos experimentos ser uma máquina convencional, não se pôde utilizar qualquer valor desejado dos parâmetros de corte, e sim os oferecidos por ela que se enquadrassem dentro dos valores aceitos pelas ferramentas, segundo o fabricante.

Foi calculado o valor de f_z e v_c para cada valor de avanço e rotação disponível. Após feito isso, foi possível selecionar quais os valores de avanço por aresta de corte e velocidade de corte que a fresadora permitia e que se enquadravam nos valores recomendado pela fabricante. A partir disso foi possível estabelecer as condições de usinagem para realização dos ensaios, que estão dispostas na Tabela 2:

Tabela 2- Matriz de experimentos

Condição	Rotação [rpm]	Avanço [mm/min]	Velocidade de corte [m/min]	Profundidade de corte axial [mm]	Avanço por aresta [mm/aresta]	Ferramenta	Penetração de corte radial [mm]
1	1247	247	297	1,5	0,2	X	50
2	1247	342,4	261	1,5	0,27	X	50
3	1247	247	297	1,5	0,2	Y	50
4	1247	342,4	261	1,5	0,27	Y	50

Fonte: Autoria própria

3. Resultados e discussões

Nesta seção foram apresentados os resultados obtidos dos parâmetros de rugosidade para cada condição de usinagem e discutido a influência do avanço e tipo de ferramenta em cada parâmetro.

3.1 Média aritmética da rugosidade (R_a)

No Gráfico 1 está exposto o gráfico de R_a das quatro condições de usinagem.

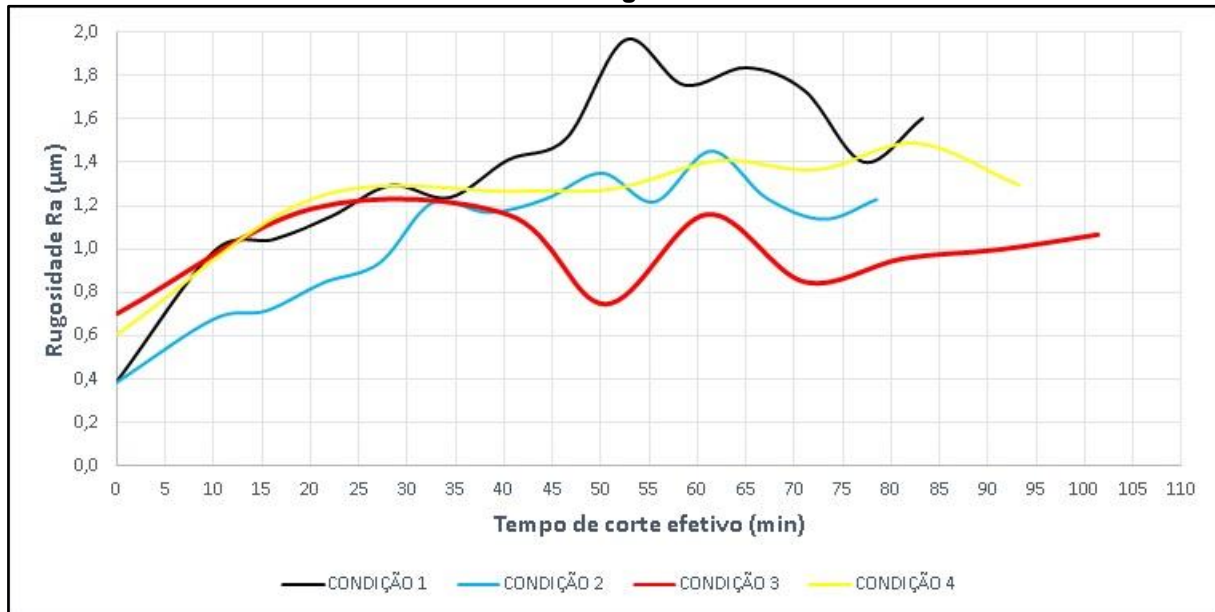
Analisando Gráfico 1, o comportamento de R_a mostra-se muito comportado e parecido nos primeiros 34 minutos de usinagem para todas as condições. Após os 34 minutos, a condição 1 segue uma tendência de alta, as condições 2 e 4 seguem oscilando entre 1,1 e 1,5 μ m e a condição 3 segue uma tendência de baixa. Também pode-se observar que as condições de menor avanço (condição 1 e 3) apresentaram oscilações mais fortes do que as condições de maior avanço. A condição 2 apresentou oscilações intermediárias, enquanto a condição 4 apresentou oscilações suaves. No final da vida de todas as ferramentas os últimos valores de rugosidade medidos estão entre 1,0 e 1,6 μ m.

Para o inserto quadrado, foram obtidos valores maiores de R_a com o avanço menor, o que não era esperado. No entanto, existem alguns trabalhos em que um fenômeno semelhante foi observado no processo de torneamento, como os de Coppini et al. (2018) e Das et al. (2016). Ambos investigaram o efeito do avanço na rugosidade obtida por processo de torneamento, e, em alguns casos, o aumento do avanço não causou aumento de R_a . Das et al.(2016) diz que em velocidades de corte elevadas, o avanço pode não promover um aumento de R_a e, também tem-se outras variáveis que afetam a rugosidade que não foram investigadas no presente trabalho, como rigidez da máquina e vibração.

Mesmo o inserto redondo não sendo a primeira escolha para acabamento, os resultados mostraram que dentre todas as condições comparadas, a que obteve melhores resultados

foi a condição 3, tendo em vista que quanto menor o valor de R_a , melhor o acabamento superficial da peça.

Gráfico 1- Comportamento das médias aritméticas da rugosidade (R_a) das quatro condições de usinagem



Fonte: Autoria própria

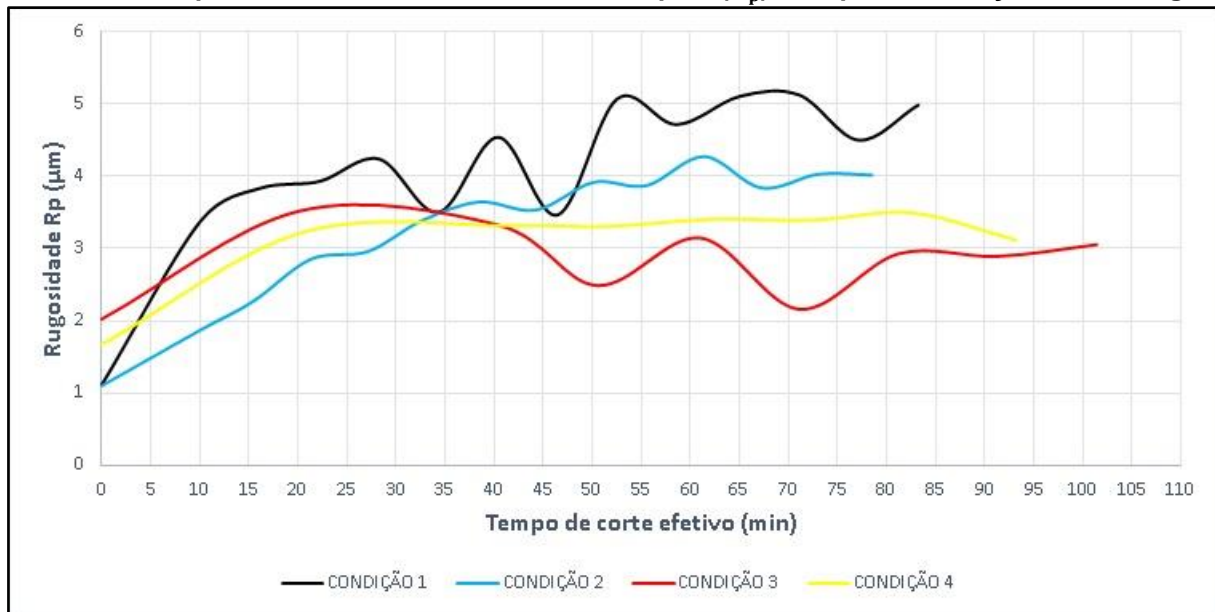
3.2 Altura máxima de pico (R_p)

O Gráfico 2 apresenta a rugosidade R_p das quatro condições de usinagem.

No Gráfico 2, nota-se resultados parecidos com os observados no Gráfico 1 e mesma tendência até os 34 minutos (inclusive pode-se observar as linhas se encontrando neste mesmo tempo de corte efetivo); após os 34 minutos de usinagem observa-se uma tendência de crescimento da condição 1; oscilações intermediárias e suaves das condições 2 e 4, respectivamente; tendência de baixa da condição 3. Também é possível observar que as condições de menor avanço (condição 1 e 3) tiveram oscilação maior do que as condições de maior avanço.

Não ficou evidente qual a influência do avanço sobre a altura dos picos, pois com o inserto quadrado, a condição 2 que possui o maior avanço apresentou valores menores de R_p se comparado a condição de mesmo inserto e menor avanço (condição 1). O mesmo não aconteceu para o inserto redondo, onde até os 34 minutos de usinagem os valores foram praticamente iguais e, após este tempo de usinagem, a condição de menor avanço (condição 3) apresentou valores menores. Considerando-se a partir dos 34 minutos de usinagem, onde os valores começam a se diferenciar, pode-se notar que a ferramenta redonda apresentou picos menores, comparando as condições de mesmo avanço com o inserto quadrado, o que é desejado, pois picos altos causam uma piora no acabamento superficial e causam um desgaste prematuro da peça usinada.

Gráfico 2- Comportamento das alturas máximas de pico (R_p) das quatro condições de usinagem



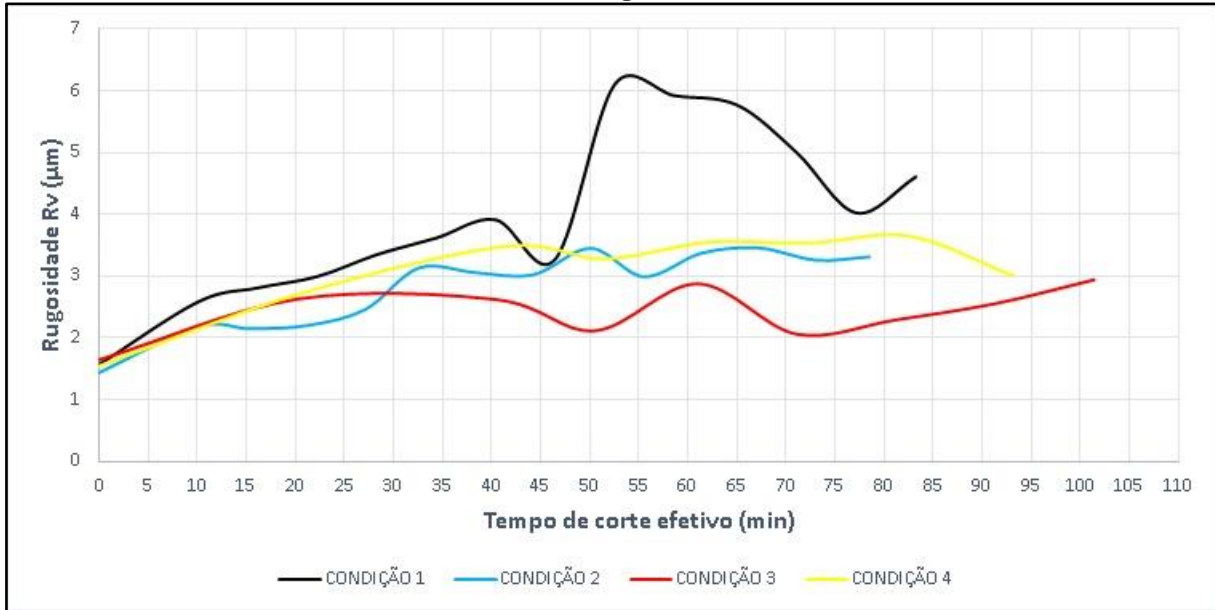
Fonte: Autoria própria

3.3 Profundidade máxima de vale (R_v)

No Gráfico 3 pode-se observar o comportamento de R_v para as quatro condições de usinagem.

Analisando o Gráfico 3, nota-se que a condição 1 apresentou valores significativamente maiores de profundidade de vales que as outras condições entre os 46 aos 77 minutos de usinagem. As outras condições apresentaram valores próximos, com destaque para a condição 3 que apresentou vales mais rasos que as outras condições durante praticamente toda a vida da ferramenta. O inserto redondo apresentou vales mais rasos e com valores mais estáveis (com pouca variação entre o mínimo e máximo), do que a ferramenta quadrada, com os dois avanços testados, o que é desejado, pois de acordo com Oliveira (2004) o parâmetro R_v está diretamente ligado a capacidade de retenção de fluido, portanto valores baixos de R_v indicam que a superfície possui vales mais rasos e menor capacidade de reter fluidos e lubrificantes nos seus vales. Vales muito profundos prejudicam a lubrificação, pois podem reter todo o lubrificante e fazem com que continue ocorrendo contato direto entre as partes metálicas, o que é indesejado.

Gráfico 3- Comportamento das profundidades máximas de vale (R_v) das quatro condições de usinagem

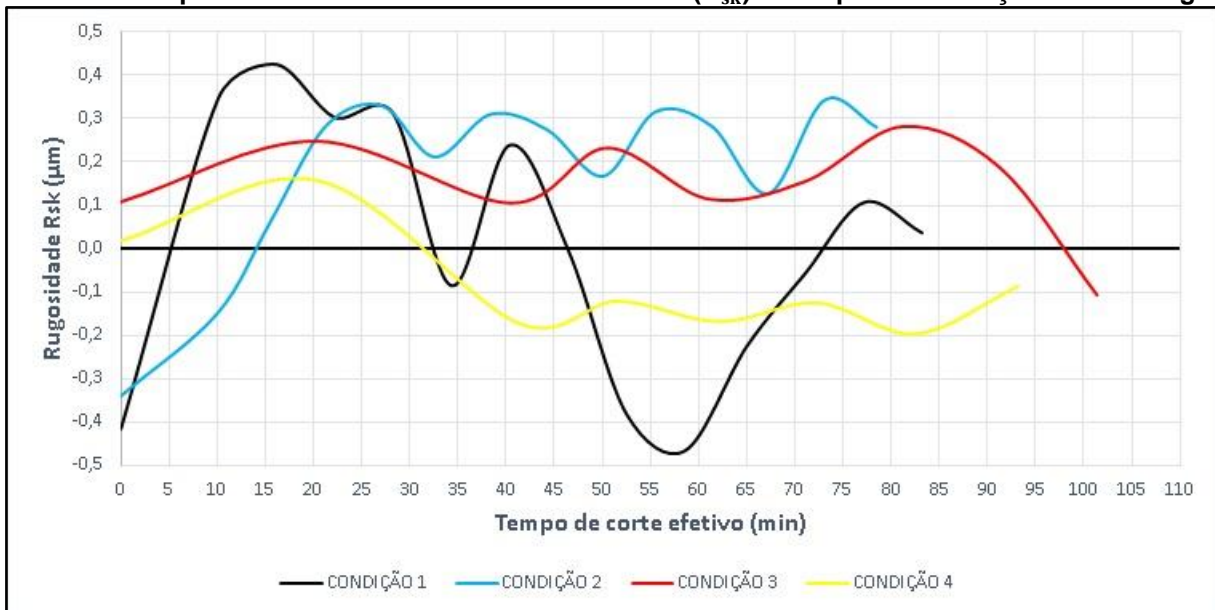


Fonte: Autoria própria

3.4 Fator de assimetria (R_{sk})

No Gráfico 4 é apresentado o fator de assimetria para as quatro condições de usinagem.

Gráfico 4- Comportamento dos fatores de assimetria (R_{sk}) das quatro condições de usinagem



Fonte: Autoria própria

Analisando o Gráfico 4 foi possível observar que, nos primeiros minutos de usinagem, com as ferramentas pouco desgastadas, independente dos avanços utilizados, a ferramenta redonda apresentou predominância de picos, enquanto a quadrada de vales.

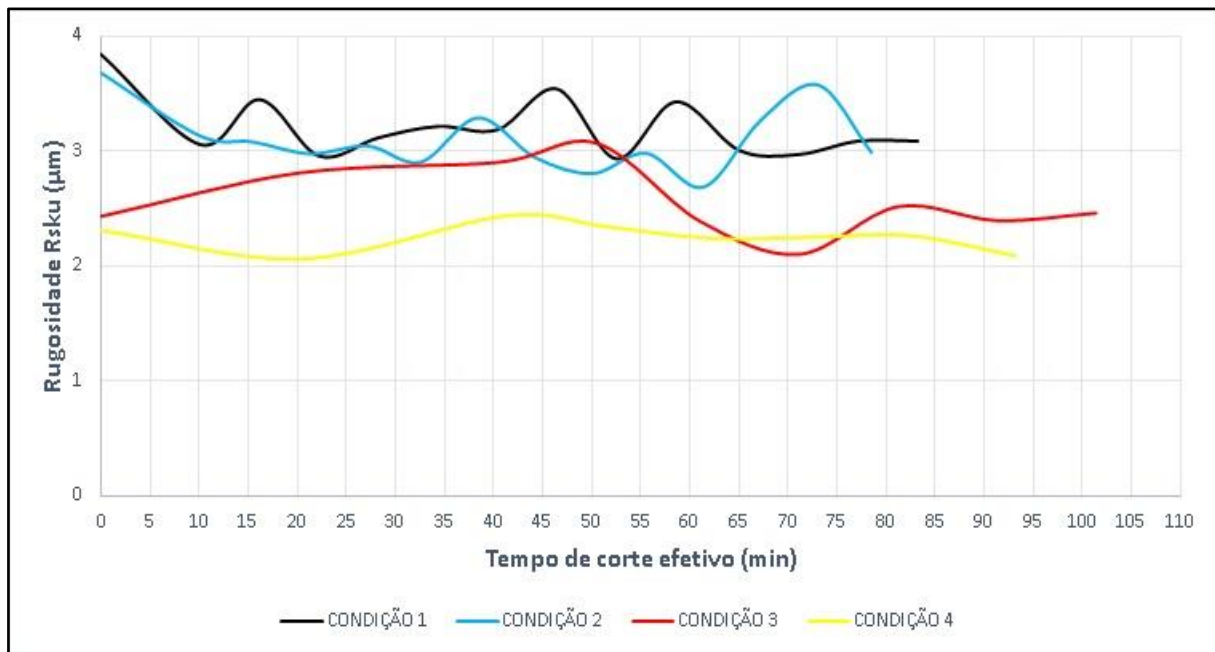
Ao se analisar o gráfico da condição 1 nota-se amplitudes maiores e mais alternâncias entre a parte positiva e negativa do gráfico, apresentando predominância de picos durante praticamente todos os primeiros 46 minutos de usinagem, seguido de uma predominância de vales dos 46 aos 71 minutos e, por fim, volta a apresentar mais picos até o fim da vida da ferramenta. Com o aumento do avanço para a condição 2, o perfil ficou caracterizado pela presença de picos, ficando na parte positiva do gráfico desde os 15 minutos, ou em torno de 80% do tempo de usinagem.

Ainda sobre o Gráfico 4, analisando a condição 3, nota-se a predominância de picos durante aproximadamente 90% da vida da ferramenta. Somente no final da usinagem foram encontrados mais vales do que picos. Diferentemente das condições que usam o inserto quadrado, o aumento do avanço causou um aumento dos vales no perfil. Os vales predominaram desde os 41 minutos ou em torno de 55% do tempo de usinagem.

3.5 Fator de achatamento do perfil (R_{sku})

Como pode-se observar no Gráfico 5, nos minutos iniciais, com a ferramenta pouco desgastada, pode-se notar a influência da ferramenta na característica dos picos: as condições que utilizam inserto quadrado (condição 1 e 2), apresentam picos pontiagudos, enquanto as condições que utilizam o inserto redondo (condições 3 e 4) apresentam picos mais achatados.

Gráfico 5- Comportamento dos fatores de achatamento (R_{sku}) das quatro condições de usinagem



Fonte: Autoria própria

Analisando o Gráfico 5, a condição 1 oscila entre valores próximos ou maiores de 3 a partir dos primeiros 10 minutos de usinagem, mostrando a presença de picos aleatórios ou pontiagudos. Da mesma forma que o fator de assimetria, a condição 1 é a que apresenta maiores oscilações. Com o aumento do avanço para a condição 2, há uma oscilação ainda maior em torno de 3, apresentando valores acima ou abaixo durante toda a vida da ferramenta, sem mostrar um padrão, então não foi possível caracterizar de forma precisa as características do perfil nesta condição de usinagem. As condições 1 e 2, que utilizam a ferramenta quadrada, apresentaram maiores oscilações se comparadas as condições que utilizam a ferramenta redonda.

A condição 3 apresentou valores menores ou igual a 3 durante praticamente toda a vida da ferramenta ficando evidente a presença de picos mais achatados e irregulares durante toda a vida da ferramenta. Com o aumento do avanço para a condição 4, pode-se notar mais claramente que o perfil ficou caracterizado pela presença de picos achatados, representados pela curva abaixo de 3 durante todo o tempo de usinagem.

Elevados valores de $R_{sku} > 3$, indicam que as irregularidades são pontiagudas, ou seja, mais suscetíveis ao desgaste prematuro, como foram encontrados nas condições 1 e 2. Já valores de $R_{sku} < 3$, como encontrados nas condições 3 e 4, indicam superfícies não

pontiagudas, comum perfil mais achatado, o que torna a superfície menos suscetível ao desgaste prematuro.

4. Conclusões

Não é possível especificar um conjunto de variáveis que apresentou uma melhor rugosidade, tendo em vista que a rugosidade é especificada em projeto e visa atender necessidades específicas de trabalho da peça. Com base nos resultados obtidos, foi possível destacar os comportamentos dos diversos parâmetros de rugosidade estudados, que estão a seguir:

- a) O avanço por aresta de corte e o tipo de ferramenta tem influência na rugosidade;
- b) Para a ferramenta X, o aumento do avanço por aresta de corte resultou em uma queda nos valores de R_a . Por outro lado para a ferramenta Y, os valores de R_a foram praticamente iguais até os 34 minutos de usinagem, após isso, valores menores de R_a foram obtidos para o avanço por aresta de corte menor. Quando usado o avanço por aresta de corte menor para ambas as ferramentas, os valores de R_a também foram parecidos até os 34 minutos de usinagem, após isso a ferramenta Y apresentou valores de R_a significativamente menores do que a ferramenta X. Quando usado o avanço por aresta de corte maior, a ferramenta X apresentou valores de R_a menores do que a ferramenta Y durante 55% do seu tempo de vida;
- c) Quando se trata do parâmetro de rugosidade R_p , a ferramenta X apresentou valores menores com o aumento do avanço por aresta de corte. Por outro lado, a ferramenta Y apresentou valores de R_p menores quando utilizou-se o avanço por aresta de corte menor. Para os mesmos avanços por aresta de corte com ferramentas diferentes, os valores de R_p foram parecidos até os 34 minutos de usinagem, após este tempo a ferramenta Y apresentou valores menores para ambos os avanços por aresta de corte;
- d) A ferramenta X obteve valores de R_v menores com o aumento do avanço por aresta de corte. Por outro lado, a ferramenta Y obteve valores de R_v menores com o avanço por aresta de corte menor. Com o avanço por aresta de corte menor, foram obtidos valores maiores de R_v quando usada a ferramenta X. Quando utilizou-se o avanço por aresta de corte maior, os valores de R_v estiveram próximos durante todo o tempo de usinagem;
- e) A ferramenta X mostrou um aumento da quantidade de picos quando se aumentou o avanço por aresta de corte. Por outro lado, a ferramenta Y apresentou um aumento na predominância de vales, quando aumentou-se o avanço por aresta de corte. Com o avanço por aresta de corte menor, a ferramenta X apresentou uma predominância de picos durante 50% de seu tempo de vida, enquanto a ferramenta Y apresentou predominância de picos em 90% de sua vida. Com o avanço por aresta de corte maior, a ferramenta X apresentou predominância de picos durante 80% de seu tempo vida, enquanto a ferramenta Y apresentou predominância de vales em 55% de seu tempo de vida;
- f) A ferramenta X apresentou picos aleatórios ou pontiagudos, enquanto a ferramenta Y apresentou picos mais achatados.

Referências

COPPINI, N. L. et al. Internal turning of sintered carbide parts: tool wear and surface roughness evaluation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Springer, v. 40, n. 4, p. 1–7, 2018.

DAS, S. R.; KUMAR, A.; DHUPAL, D. Experimental investigation on cutting force and surfaceroughness in machining of hardened aisi 52100 steel using cbn tool. **International Journal of Machining and Machinability of Materials**, Inderscience Publishers (IEL), v.18, n. 5-6, p.501–521, 2016.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2010.

OLIVEIRA, C. J. **Avaliação da influência de sistemas de filtragem aplicados a topografia de superfície em usinagens**. Belo Horizonte, 2004. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

SILVA, M. **Análise da importância da adoção das práticas clássicas e ágeis para o sucesso nos projetos brasileiros**. 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado executivo em Gestão Empresarial) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2014.

STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal cutting theory and practice**. Nova Iorque: CRC Press, 2016.

TRENT, E.; Wright, P. **Metal Cutting**. California: Butterworth Heinemann, 2000.