



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



EVENTO  
ON-LINE

02 a 04  
de dezembro 2020

## **Análise da influência da velocidade da peça sobre a rugosidade no processo de retificação plana tangencial**

**Gerson Ulbricht**

Departamento de Ensino - Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

**Cassiano Rodrigues Moura**

Departamento de Fabricação Mecânica - Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

**Giovani Conrado Carlini**

Departamento de Fabricação Mecânica - Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

**Wagner Cabral Mehl**

Departamento de Fabricação Mecânica - Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

**Gabriel Costa Sousa**

Departamento de Fabricação Mecânica - Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

**Resumo:** A retificação geralmente é o último processo realizado em uma produção. esta busca alcançar baixas tolerâncias a fim de garantir a precisão geométrica. Peças bem acabadas suportam maiores capacidades de carga e possuem maior resistência a fadiga. A retificação é um dos processos mais complexos na produção mecânica, isto devido à grande quantidade de variáveis existentes. Conhecer estas variáveis ajuda a minimizar os riscos inerentes a este processo e assim pode-se controlar os resultados desejados. Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da velocidade da peça sobre o comportamento da rugosidade durante o processo de retificação. Para isso foram utilizados dois rebolos convencionais, o Óxido de Alumínio branco e o Carboneto de Silício verde. Foram utilizadas velocidades da peça de 12m/min e 24m/min, monitoradas em tempo real com a utilização de sensores confeccionados para este fim, e com a ajuda de plataforma de prototipagem eletrônica Arduíno. O material estudado foi o aço ABNT D6 temperado de alta dureza, com teor de carbono de 2,1%. Com os ensaios realizados foi possível chegar a uma igualdade volumétrica de remoção de material entre os dois rebolos, com uma melhor produtividade para o carboneto de silício devido a maior velocidade da peça aplicada. O carboneto de silício apresentou melhores resultados de retificação, com níveis de rugosidade constantes durante todo o processo de usinagem das amostras.

**Palavras-chave:** Retificação, Rugosidade, Aço ABNT D6, Carboneto de Silício, Óxido de Alumínio.

## **Analysis of the influence of part feed rate speed on the roughness in the tangential flat grinding process**

**Abstract:** Grinding is usually the last process carried out in a production. This seeks to achieve low tolerances in order to guarantee geometric accuracy. Well-finished parts support greater load capacities and have greater resistance to fatigue. Grinding is one of the most complex processes in mechanical production, due to the large number of existing variables. Knowing these variables helps to minimize the risks inherent in this process and thus you can control the desired results. This work

aims to study the influence of the feed rate speed of the part on the behavior of the roughness during the tangential flat grinding process. For this purpose, two grades of conventional grinding wheels were used: white aluminum oxide and green silicon carbide. Were used feed rate speeds of 12m/min and 24m/min, monitored in real time using sensors for this purpose with the data acquisition of an electronic prototyping platform Arduino. The material studied was ABNT D6 hardened steel, with a carbon content of 2.1%. With the tests carried out it was possible to reach a volumetric equality of material removal between the two grinding wheels, with a better productivity for the silicon carbide due to the higher feed rate of the applied part. The silicon carbide showed better grinding results, with constant levels of roughness throughout the sample machining process.

**Keywords:** Grinding, Roughness, ABNT D6 Steel, Silicon Carbide, Aluminum Oxide.

## 1. Introdução

Para obtenção de melhores acabamentos em superfícies duras, faz-se o uso majoritariamente dos processos de usinagem não convencionais, sendo o mais importante deles o processo de retificação, que consiste na remoção de material pela ação de partículas abrasivas geralmente aglomeradas em forma de reboło, combinado com altas velocidades de rotação, este é considerado um dos mais complexos processos de usinagem, devido ao seu grande número de parâmetros característicos (CHEN & ROWE, 1996).

Este processo de fabricação vem sendo estudado em diversos tipos de materiais para se obter diferentes tipos de acabamento (ARANTES, 2019; RUZZI, 2017; FRAGOSO *et al*, 2016; CASTRO *et al*, 2016; ANJOS *et al*, 2016; HADDAD *et al*, 2016). Com ele pode-se produzir peças de alta qualidade, de grande exatidão além de diminuir tolerâncias geométricas (MARINESCU *et al*, 2007; MALKIN, 2008).

O acabamento superficial pode ser caracterizado como um processo final com baixa taxa de remoção de material (NGUYEN & BUTLER, 2005). Este está relacionado ao modo de operação de uma peça, onde superfícies bem acabadas tendem a suportar maiores capacidades de carga. O acabamento superficial é fundamental onde há atrito, transmissão de calor, superfícies de medição, corrosão e outros. Sua caracterização na manufatura geralmente é realizada por meio da avaliação da rugosidade da superfície.

A busca por elevada produtividade na indústria faz com que novas ferramentas e equipamentos sejam desenvolvidos. Estas ferramentas e equipamentos têm o objetivo de resultar em melhores acabamentos com maior produtividade. Novas tecnologias de produção possuem elevados valores para implantação, o que impedem as pequenas indústrias de terem acesso a estas novas tecnologias, desta forma a retificação com rebołos convencionais que são utilizados em grande parte da indústria precisam ser mais produtivos com maior durabilidade entre processos.

Quando as variáveis de retificação são conhecidas os resultados podem ser previamente definidos e esperados com menores ocorrências de erros durante o processo, resultando em peças com melhores acabamentos, bem como com maior produtividade, ressaltando a importância de estudos destas variáveis.

Diante disso esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência da velocidade da peça ( $v_w$ ) sobre o acabamento superficial no processo de retificação plana com a utilização de rebołos convencionais de Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e Carboneto de Silício (SiC).

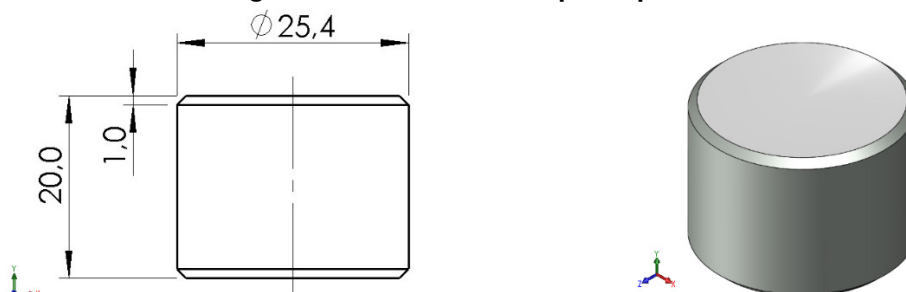
## 2. Metodologia

Para analisar a influência da velocidade da mesa sobre a rugosidade superficial, foram realizados quatro ensaios utilizando-se 16 amostras. Foram realizadas retificações entre dois tipos de reboło, um composto de Óxido de Alumínio (AA 80 J6 V387), e outro composto de Carboneto de Silício (GC 80 K6 V), variando o deslocamento da peça utilizando para

isso as velocidades da mesa de 12m/min e 24m/min, mantendo todos os demais parâmetros inalterados.

Foram utilizados dezesseis corpos de prova, confeccionado em aço ferramenta SAE ABNT D6 (Villares VC131), que possui em sua composição 2,1%C, 11,5%Cr, 0,7%W e 0,15%V, temperado atingindo dureza aproximada de 60HRC. Suas dimensões e representação tridimensional podem ser observadas na Figura 1.

**Figura 1 – Detalhes do corpo de prova**



**Fonte: Autores (2020)**

Para este estudo, foi realizada a comparação entre um rebolo com abrasivo de Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ), branco e outro em Carboneto de Silício (SiC), verde. Suas características foram retiradas de catálogos dos respectivos fabricantes e são descritas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Descrição técnica dos rebolos**

	<b>Óxido de Alumínio</b>	<b>Carbeto de Silício</b>
Perfil do rebolo	Reto	Reto
Tipo de grão	$Al_2O_3$ (99% de Pureza)	SiC
Granulometria	80	80
Grau do rebolo	Macio	Macio
Estrutura do rebolo	Média	Média
Tipo de Ligante	Vitrificado	Vitrificado
Vitrificado	2480 rpm	2765 rpm
Diâmetro	254 mm	250 mm
Espessura	24,5 mm	24,5 mm
Diâmetro furo	76,2 mm	76,2 mm
Fabricante	Indabratec	Stilex

**Fonte: Autores (2020)**

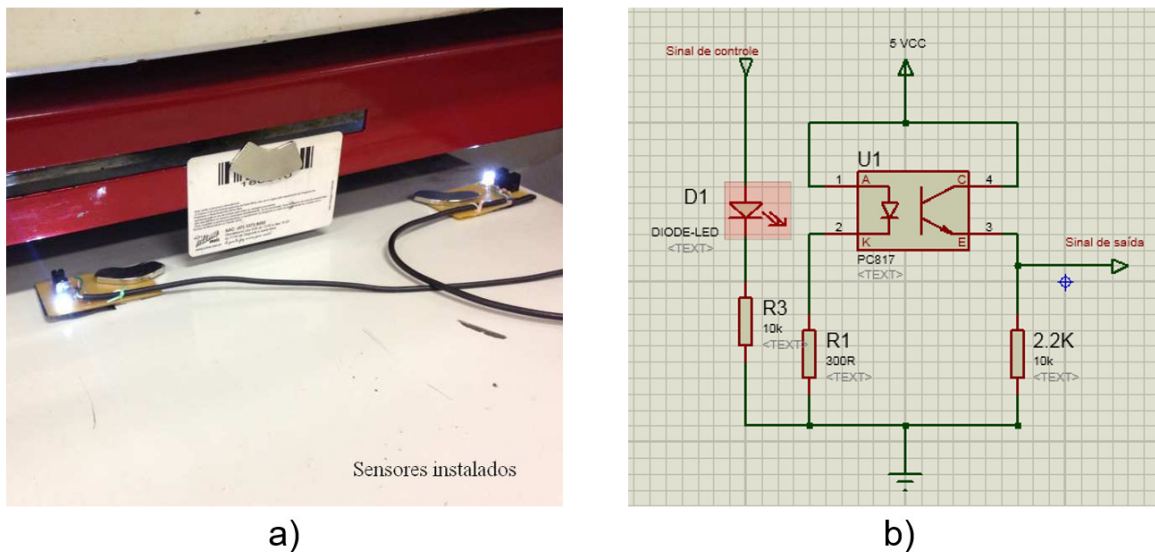
Foi utilizada uma retificadora plana tangencial modelo P25 automática, fabricada pela *MELLO*. Esta possui uma rotação de 2400 rpm no eixo horizontal do rebolo e um ajuste da profundidade de corte em incrementos de 0,005 mm, parâmetro necessário para a realização do projeto.

A velocidade máxima nominal da mesa da retificadora P25 é de 24 m/min, com reversões dos movimentos longitudinais e transversais automáticas comandadas por sensores de proximidade. Possui sistema elétrico automático para movimento transversal e sistema hidráulico para movimento longitudinal composto por bomba de palhetas de vazão variável, eletroválvulas e válvulas manuais.

O fluido de corte utilizado é da empresa *LubMaster LEB ASI L52*. Este é um fluido de corte semi sintético solúvel, desenvolvido para metais ferrosos e não ferrosos, com a capacidade de preservar a lubrificação e o equipamento, atendendo a norma ISO VG 7. O fluido foi preparado com uma emulsão em água à concentração de 5% do volume total.

Este projeto visa analisar o acabamento superficial obtido através da variação de velocidade da peça no processo de retificação plana, mantendo-se os demais parâmetros de retificação sem alteração. Para que a análise seja efetivamente confiável, é necessário o monitoramento contínuo da velocidade durante o processo de retificação. Para a aquisição de dados foi necessário construir um equipamento para esta finalidade (ver Figura 2-a). Este é constituído de duas placas de circuito eletrônico com sensor infravermelho, conforme mostra o diagrama esquemático na Figura 2-b. Para a aquisição dos dados, foi adotada uma placa de prototipagem eletrônica Arduino UNO, responsável pela coleta, contagem de tempo e execução das interações dos cálculos das velocidades instantaneamente.

**Figura 2 – Dispositivo de medição**



**Fonte: Autores (2020)**

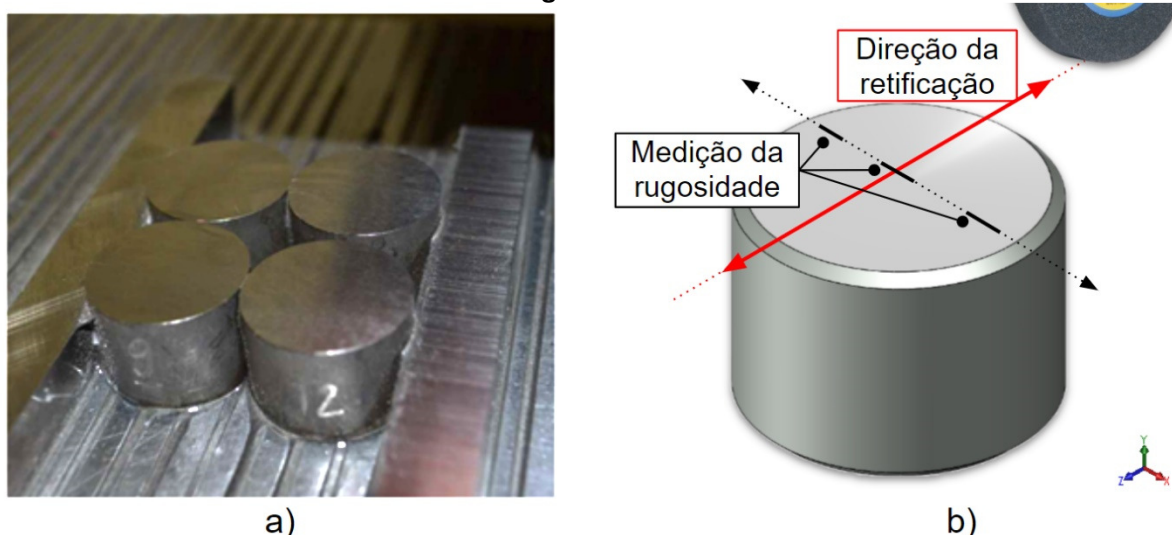
Além dos dois sensores de velocidade, um terceiro sensor foi construído e instalado na retificadora. Este terceiro sensor tem a função de monitorar o deslocamento transversal da mesa de retificação. Assim como ocorre com o ajuste de velocidade, o deslocamento transversal pode ser ajustado previamente conforme necessidade e de acordo com as medições realizadas por este sensor, assim é possível estabelecer de modo mais assertivo o incremento lateral da mesa de retificação.

Para a análise de rugosidade após as retificações, foi utilizado o rugosímetro da marca *Tesa*, modelo *RUGOSURF 20*. Esse aparelho possui escala de medição no eixo z de 400 $\mu$ m e possui 15 parâmetros de rugosidade que podem ser ativados individualmente ou não, e sua resolução de medição é de 0,001 $\mu$ m. Os parâmetros adquiridos foram Ra, Rt e Rz, contudo, utilizou-se a rugosidade média aritmética Ra ( $\mu$ m), com valor de amostragem *CutOff* de 0,8 mm x 3.

Os dezesseis corpos de prova foram identificados e divididos em quatro grupos com quatro peças cada e foram fixados a retificadora (ver Figura 3-a). Para cada grupo selecionado foi realizada uma retificação prévia nas superfícies opostas a serem utilizadas no ensaio para que os comprimentos dos corpos de prova sejam todos exatamente os mesmos, e assim não haja uma diferença de comprimento e conseqüentemente uma alteração nos volumes individuais a serem usinados em cada corpo de prova.

Posteriormente se seguiu a remoção de material e medições de rugosidade a cada 400mm<sup>3</sup> de material removido até o limite de 4000mm<sup>3</sup> de volume específico total. Foram efetuadas três medições de rugosidade em cada amostra, essas perpendicularmente à direção de retificação, conforme mostra a Figura 3-b, totalizando doze medições no intervalo de volume usinado.

**Figura 3 – Corpos de prova – a) Fixação à retificadora – b) direção da retificação e da medição de rugosidade**



Fonte: Autores (2020)

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Análise das velocidades de retificação

As velocidades coletadas durante o processo de retificação foram registradas e podem ser observadas na Tabela 2, o valor médio da velocidade da mesa se situou próximo ao valor desejado previamente para os ensaios. Nota-se uma variação média próxima de 4m/min entre a maior velocidade e a menor velocidade coletada.

Tabela 2 – Comparativo entre velocidades da mesa

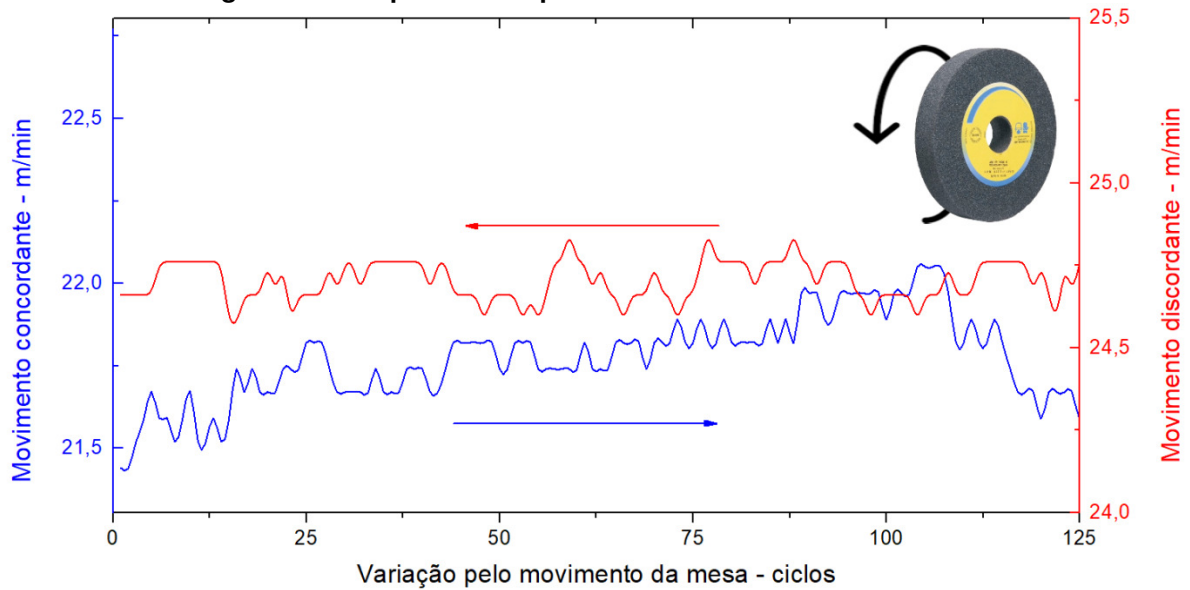
velocidades da peça	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiC	
	12m/min	24m/min	12m/min	24m/min
média concordante	12,22	21,85	13,35	22,63
média discordante	13,47	24,61	13,62	23,93
velocidade média	12,81	23,23	13,48	23,28
maior velocidade	14,79	25,06	15,37	24,96
menor velocidade	11,01	21,08	11,12	21,37

Fonte: Autores (2020)

Pode-se observar uma pequena variação entre as velocidades médias concordantes e discordantes da mesa, o que não significa que esta variação tenha sido provocada em função do contato entre o rebolo e a peça e sim por uma limitação construtiva do equipamento.

A Figura 4 apresenta uma etapa da curva do processo de retificação onde em períodos alternados o rebolo está fora e sobre a peça. Neste fragmento nota-se uma maior inconstância durante a retificação no sentido concordante, e apesar de variável, o sentido discordante apresentou uma menor inconstância na variação de sua velocidade.

**Figura 4 – Comparativo de percurso concordante/discordante**



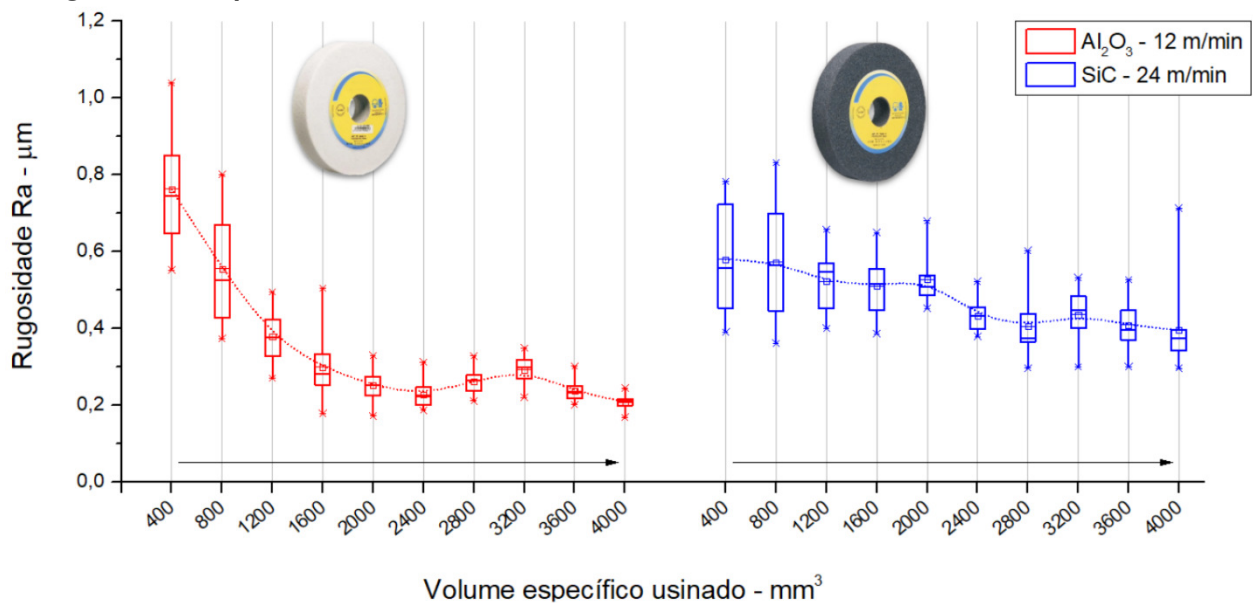
Fonte: Autores (2020)

Apesar da instabilidade da velocidade da mesa, ao se comparar com a velocidade periférica do rebolo teremos uma variação de 0,2% na velocidade de corte, o que nos permite afirmar que esta variação não resultará em danos ou alterações nas medições de rugosidade ou causará algum dano superficial na peça.

### 3.2 Comparação de resultados

A Figura 5 mostra uma comparação entre os resultados de rugosidade  $R_a$ , produtividade e variação das medições obtidas com os rebolos de Óxido de Alumínio e Carboneto de Silício, retificando com velocidades da peça de 12m/min e 24m/min respectivamente.

**Figura 4 – Comparativo entre os melhores resultados obtidos entre os rebolos  $Al_2O_3$  e SiC**



Fonte: Autores (2020)

Analisando os melhores resultados entre os dois rebolos no intervalo considerado produtivo, podemos verificar que a capacidade de remoção de material entre dressamentos foi a mesma para os dois rebolos, 4000mm<sup>3</sup> de volume específico. Após este volume poderá ocorrer o aparecimento de queimas superficiais.

Comparando-se as rugosidades obtidas, podemos verificar que a retificação efetuada com o rebolo de Carboneto de Silício na velocidade da peça de 24m/min, se comportou mais estavelmente em suas medições de rugosidade. Enquanto a variação da rugosidade em números absolutos, com a utilização do rebolo de Carboneto de Silício foi de 0,18 µm, variando de 0,58 µm a 0,40 µm, o que representa em 30% de variação.

A variação da rugosidade com a utilização do rebolo de Óxido de Alumínio na velocidade da peça de 12m/min foi de 0,76 µm a 0,26 µm, resultando em uma variação total de 0,5 µm ao longo do intervalo produtivo do rebolo, o que representa 66% de variação total.

Ao analisar as rugosidades Ra ao longo das medições, verificamos que a média alcançada pelo rebolo de Óxido de Alumínio ficou cerca de 23% menor que as rugosidades média do Carboneto de Silício ao longo das medições, confirmando que ao se utilizar menores velocidades da peça se obtém melhores acabamentos superficiais.

#### **4. Conclusões**

Este trabalho apresentou um estudo do comportamento da retificação realizada com dois rebolos convencionais compostos de Óxido de Alumínio e Carboneto de Silício, em processo de usinagem em amostra de aço ABNT D6 temperado.

O volume máximo permitido para estas condições leva em consideração a etapa anterior a detecção de ocorrência da queima. Em termos volumétricos houve uma igualdade de volumes removidos entre os rebolos de Óxido de Alumínio a 12m/min e o Carboneto de Silício a 24m/min, 4000mm<sup>3</sup>.

Ao se analisar os resultados de rugosidade com a profundidade de corte de 0,03mm, verifica-se uma vantagem alcançada com o rebolo de Óxido de Alumínio, quando comparados os resultados individuais entre os dois rebolos a cada intervalo de volume usinado.

Sobre esta análise, a rugosidade média alcançada pelo rebolo de Óxido de Alumínio ficou cerca de 23% menor que a rugosidade média do Carboneto de Silício, confirmando que ao se utilizar menores velocidades da peça se obtém melhores acabamentos superficiais.

Sobre a análise da consistência de acabamento, o rebolo de Carboneto de Silício obteve maiores durabilidade do corte com regularidade nas medições de rugosidade durante todo o ensaio, até o limite máximo definido pela queima da superfície, variando em 30% os valores medidos de rugosidade, enquanto o rebolo de Óxido de Alumínio obteve uma variação de 66% em sua rugosidade.

A baixa variação dos valores de rugosidade é vantajosa na retificação de superfícies com maiores áreas, pois a rugosidade resultante apresentará baixa dispersão em pontos distintos da superfície. Isto corresponde a retificar uma superfície bidimensional quadrada de 305,00mm x 305,00mm a uma profundidade de corte de 0,03mm.

O rebolo de Carboneto de Silício Verde se portou mais estável em todas as medições realizadas. O rebolo de Óxido de Alumínio branco obteve uma melhor rugosidade média durante as medições. Assim, caso a finalidade seja uma maior estabilidade de acabamento com maior produtividade o rebolo de Carboneto de Silício seria o mais indicado, caso o objetivo seja obter um melhor acabamento, o rebolo de Óxido de Alumínio será mais adequado.

## Referências

ANJOS, M. A. dos. et al. Estudo experimental do uso de rebolos convencionais na usinagem do aço VP-50 utilizado na retificação cilíndrica, por meio de diferentes métodos de lubrificação. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 169-184, Mar. 2016. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762016000100016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762016000100016&lng=en&nrm=iso). Acesso em 18 de setembro 2020.  
<https://doi.org/10.1590/S1517-707620160001.0015>.

ARANTES, L. de O. **Desempenho de rebolos de Seeded-Gel e CBN na retificação cilíndrica externa de mergulho em altas velocidades periféricas no aço 100Cr6**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

BENINI, L.; A. C. ROSSI, M. Avaliação dos parâmetros de rugosidade do aço abnt 1020 torneado com ferramentas de material duro. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 2, n. 4, p. 022-024, 27. 2016. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl2iss4pp022-024>

CASTRO, L. N. de. et al. Análise de diferentes métodos de lubri-refrigeração no processo de retificação cilíndrica do aço ABNT 52100 com rebolo de carbetto de silício com liga resinoide. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 691-705, 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-707620160003000691&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-707620160003000691&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 18 de setembro 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0066>

CHEN, X., ROWE, W.B. Analysis and simulation of the grinding process, Part I: Generation of the grinding wheel surfacell. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**. v. 36, n. 8, pp. 871-882. 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0890-6955\(96\)00116-2](https://doi.org/10.1016/0890-6955(96)00116-2)

FRAGOSO, K. M. et al. Retificação cilíndrica do aço VP50 utilizando o rebolo de carbetto de silício verde com a técnica de MQL. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 756-766. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-707620160003000756&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-707620160003000756&lng=en&nrm=iso) . Acesso em 18 de setembro. 2020.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0071>.

HADDAD, M.; ZITOUNE, R.; EYM, F.; CASTANIÉ, B. The effect of rectification of composite materials on the mechanical behavior of long fiber composite materials. **AIMS Materials Science**, v. 3, n. 2: p. 645-657. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.3934/matrsoci.2016.2.645>



MALKIN, S. **Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives**. 2 ed., Industrial Press, 2008.

MARINESCU, I. D., HITCHINER, M., UHLMANN, E., et al., **Handbook of machining with grinding wheels**, Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.

NGUYEN, T.A., BUTLER, D.L. Simulation of precision grinding process, part 1: generation of the grinding wheel surface. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v. 45, pp. 1321–1328, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2005.01.005>

RUZZI, R. de S. **Aplicação de fluido de corte pela técnica MQL com limpeza do rebolo de alumina na retificação do aço ABNT 4340**. Bauru, 94 p., 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.