

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE NO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE METAL DURO DURANTE O PROCESSO TORNEAMENTO

JOÃO SILVESTRE RANUCCI LUCHIARI<sup>1</sup>, ANDRÉ DA MOTTA GONÇALVES<sup>2</sup>,  
DANIEL DA MOTTA GONÇALVES<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Bacharelado em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBITI, IFSP, Campus Araraquara, ranucci.joao@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Professor formador, IFSP, Campus Araraquara, andre.motta@ifsp.edu.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Professor formador, IFSP, Campus Araraquara, danieldamotta@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.05-4 Processos de Fabricação, Seleção Econômica

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma análise do desgaste em ferramentas de corte no processo de torneamento em relação à velocidade de corte, visando desenvolver um modelo matemático para prever o desgaste em relação à Velocidade de Corte. Foram utilizados insertos de Metal Duro fabricados em Carboneto de Tungstênio (WC) e recobertos com TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiN (interna, intermediária e externa, respectivamente). Foram utilizados corpos de prova em barras de aço SAE 1045 e um torno CNC para realizar os experimentos. Foi elaborada uma matriz experimental de forma a organizar a execução das usinagens, que consistiram na usinagem a seco das barras de aço em condições controladas até a obtenção do desgaste das ferramentas. Após as usinagens observou-se um significativo desgaste das ferramentas, que cresceu com o aumento da velocidade de corte e foi possível gerar uma função polinomial de terceiro grau que descreve a progressão de forma aproximada. Baseado nos resultados obtidos, acredita-se que esse método possa ser aplicado nos processos realizados na indústria de forma a auxiliar nos resultados de eficiência e qualidade de produção na usinagem de forma mais assertiva, gerando melhoria no processo produtivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** desgaste de ferramentas; velocidade de corte; modelagem matemática; torneamento CNC; insertos de carboneto de tungstênio; eficiência da usinagem.

### QUANTITATIVE ANALYSIS OF WEAR IN RELATION TO CUTTING SPEED IN TUNGSTEN CARBIDE CUTTING TURNING TOOLS

**ABSTRACT:** This work presents a quantitative analysis of tool wear in turning operations concerning cutting speed, aiming to develop a situational mathematical model to predict wear relative to cutting speed. Tungsten carbide (WC) inserts coated with TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and TiN (inner, intermediate, and outer layers, respectively), SAE 1045 steel bars, and a CNC lathe were used to conduct the experiments, which involved machining the bars in a controlled manner to wear the tools. Satisfactory wear was observed, which increased with the cutting speed as expected, and it was possible to generate a third-degree polynomial function that approximately describes the wear progression. This method can be utilized by the industry to more accurately and realistically calculate production efficiency in machining processes, helping to identify areas for improvement.

**KEYWORDS:** tool wear; cutting speed; mathematical modeling; CNC turning; tungsten carbide inserts; machining efficiency.

### INTRODUÇÃO

O desgaste das ferramentas de corte é um dos maiores desafios na usinagem, impactando diretamente o desempenho dos processos e a eficiência da produção. Trocas constantes de ferramentas, especialmente de forma inesperada ou precipitada, podem levar a paradas indesejadas e prejudicar a produtividade.

É conhecido que a velocidade de corte é o fator mais influente no desgaste da ferramenta de corte, pois o calor do processo aumenta de forma diretamente proporcional à velocidade de corte. Tão quanto, é um dos fatores que mais influência na produtividade do processo de usinagem (Diniz; Marcondes; Coppini, 2014), portanto é necessário um equilíbrio delicado para que o melhor resultado seja atingido. Contudo, muitos casos não são otimizados devido à falta de dados para avaliar.

Este trabalho tem por objetivo estudar, quantitativamente, a influência da velocidade de corte no desgaste de ferramentas de corte de metal duro e desenvolver uma função que descreva, situacionalmente, o desgaste em insertos de carboneto de tungstênio recobertos na usinagem de barras de aço SAE 1045. Este estudo não só contribuirá para a compreensão do desgaste das ferramentas em função da velocidade de corte, mas também servirá como uma base para que empresas melhorem suas análises de eficiência de processos, permitindo otimizações mais precisas e efetivas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Os materiais utilizados nos experimentos foram a ferramenta TaeguTec WNMG 060408 MT TT8125, feita de carboneto de tungstênio com revestimento em três camadas (TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiN) e barras redondas de aço SAE 1045 laminado, com 300 mm de comprimento, 49 mm de diâmetro e um rebaixo de fixação de 30 mm de diâmetro por 20 mm de comprimento.



FIGURA 1. Ferramenta de corte utilizada, TaeguTec WNMG 060408 MT TT8125.

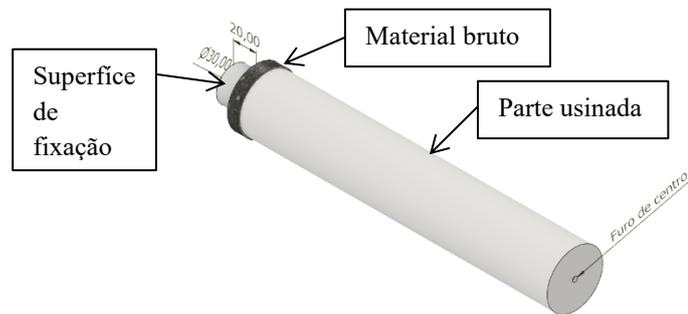


FIGURA 2. Modelo 3D do corpo-de-prova

### Equipamentos

Foi utilizada uma serra de fita para cortar os corpos de prova em barras com comprimento de 310mm. Em seguida, as barras cortadas foram torneadas em um torno universal para criar o rebaixo de fixação, regularizar os diâmetros, remover a camada de óxido e fazer um furo de centro na face oposta ao rebaixo.

Foram realizados ensaios de dureza Rockwell B em um durômetro Insize HDT-RW160. Foram feitas quatro medições por amostra, descartando a primeira. Os resultados das medições apresentaram uma dureza entre 81 HRB e 90 HRB, o que confirma que o material a ser usinado nos ensaios de usinagem é o SAE 1045.

Para realizar os experimentos, foram utilizados um torno CNC Veker LVK 175 e um suporte de ferramenta TaeguTec TWLNR/R fixado com a ferramenta para baixo, conforme apresentado na Figura 3. Para medir as ferramentas, foi utilizado um microscópio KONTROL modelo IM100i, acoplado a uma câmera e software. Com o auxílio do programa ImageJ, foi possível calcular as distâncias nas imagens. A lente objetiva de 40x foi escolhida por ser a menor ampliação calibrada disponível no aplicativo.



FIGURA 3. Fixação do corpo-de-prova na máquina em placa e contraponto.



FIGURA 4. Microscópio com a câmera utilizados para medir as ferramentas.

### Metodologia

Com base na literatura e informações das ferramentas de corte, foram definidos parâmetros de avanço e profundidade de corte como 0,25 mm/revolução e 0,8 mm, respectivamente, para otimizar a quebra dos cavacos e maximizar o número de passes em cada corpo de prova. As velocidades de corte, baseadas nas especificações do fabricante e testes preliminares, foram estabelecidas entre 150 m/min e 250 m/min, com incrementos de 25 m/min, utilizando cinco ferramentas. O comprimento de corte foi definido em 270 mm para garantir a estabilidade dos corpos de prova, que poderiam ter até 280 mm de comprimento fora da placa.

Diniz, Marcondes e Coppini (2014) descreveram que uma ferramenta de metal duro recoberta de classe P35 atinge o fim da vida usinando aço SAE 4340 por volta de 1800 metros de percurso de corte. Com isso, planejou-se que cada ferramenta iria percorrer, fixamente, 2000 metros para gerar os desgastes. Para que o percurso fosse respeitado, o último comprimento de corte era menor, conforme:

$$l = \frac{1000 \cdot f \cdot (s_n - s_{n-1})}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

em que,

$l$  – comprimento de corte, mm;

$f$  – avanço, mm/rev;

$s_n$  – último percurso da ferramenta, m;

$s_{n-1}$  – penúltimo percurso da ferramenta, m;

$D$  – diâmetro da peça, mm.

Na programação do torno CNC, fixou-se a velocidade de corte e respeitou-se o limite de rotações da máquina a fim de manter a velocidade de corte constante durante todo o experimento. Na Tabela 1, pode-se observar os parâmetros utilizados nos experimentos.

TABELA 1 – Parâmetros de Corte utilizados nos ensaios.

Ferramenta	Velocidade de corte	Avanço	Profundidade
1	250	0,25	0,8
2	150	0,25	0,8
3	225	0,25	0,8

4	175	0,25	0,8
5	200	0,25	0,8

As pontas desgastadas foram medidas utilizando imagens capturadas no microscópio no programa ImageJ para medir o desgaste em três pontos nítidos ao longo da aresta de corte. Para fixar a ferramenta constantemente na mesma posição e com a ponta direcionada para a objetiva do microscópio, foi utilizado um suporte articulado para fixá-la.

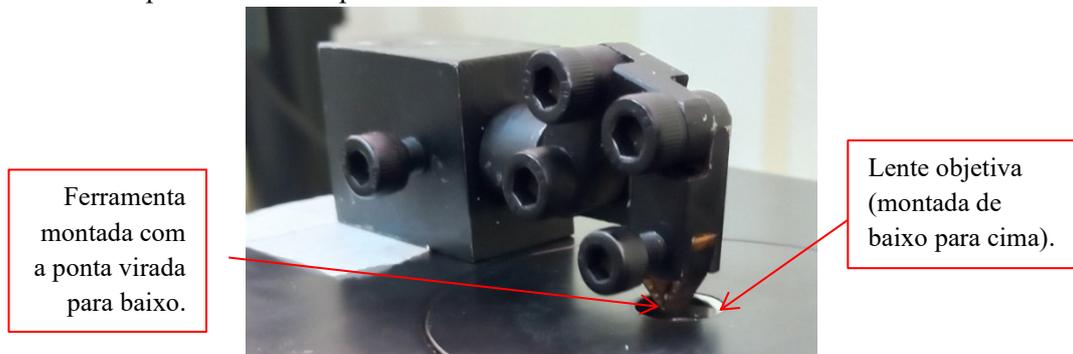


FIGURA 5. Suporte articulado com a ferramenta montada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens capturadas no microscópio mostraram um desgaste considerável e mensurável, permitindo a coleta de dados precisos, como mostra a Figura 8. É possível observar uma diferença nítida entre uma aresta de corte desgastada e uma nova, comparando as Figuras 8 e 9; o desgaste possui um perfil chanfrado, o que provoca a perda de foco e de luminosidade na aresta.

Para medir o desgaste na aresta, o brilho foi ajustado graficamente no aplicativo do microscópio até que fosse possível ver o limite superior da aresta de corte. As medições podem ser observadas na Tabela 2 e foram condizentes com o esperado, aumentando conforme o incremento da velocidade de corte.

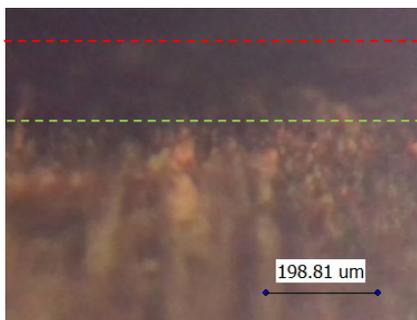


FIGURA 6. Foto tirada pelo microscópio da aresta de corte da ferramenta desgastada.



FIGURA 8. Foto tirada por uma câmera de alto aumento da aresta de corte desgastada.

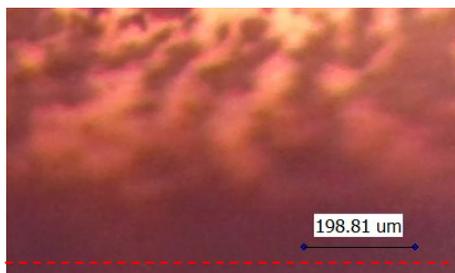


FIGURA 7. Foto tirada no microscópio da aresta de corte da ferramenta sem desgaste (controle).

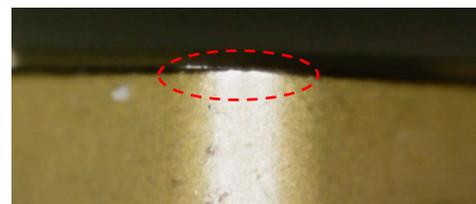


FIGURA 9. Foto tirada por uma câmera de alto aumento da aresta de corte da ferramenta sem desgaste.

Nas figuras 6 e 7, o fim das arestas de corte é marcado pela linha tracejada vermelha, o desgaste pela linha tracejada verde e, nas 8 e 9, a aresta de corte é destacada pela elipse tracejada vermelha.

TABELA 2. Medição do comprimento do desgaste de flanco da ferramenta.

Ferramenta	Vc (m/min)	Medição	Desgaste de flanco ( $\mu\text{m}$ )
2	150	4	151,09
2	150	5	145,15
2	150	6	171,02
4	175	10	214,71
4	175	11	188,91
4	175	12	184,89
5	200	13	214,71
5	200	14	212,76
5	200	15	196,82
3	225	7	212,76
3	225	8	210,75
3	225	9	204,77
1	250	1	224,66
1	250	2	218,70
1	250	3	230,63

Com esses dados construiu-se o Gráfico 1 a partir dos valores médios de desgaste de flanco, considerando o desvio-padrão. Este gráfico permite observar o comportamento do desgaste conforme o aumento da velocidade de corte, permitindo uma análise visual do fenômeno e uma aproximação matemática por meio de métodos algébricos, visto que a função aparenta ser polinomial de grau 3.

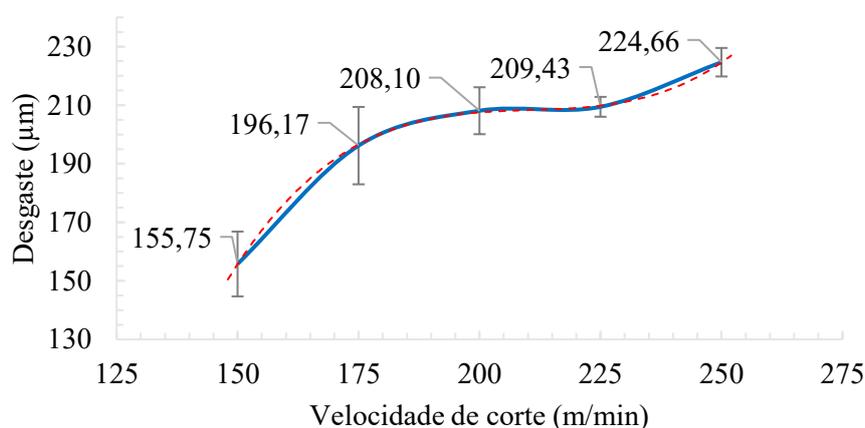


GRÁFICO 1. Desgaste de flanco médio em azul e a função polinomial de tendência em vermelho.

Assim, pode-se extrair os valores nos pontos e compor a função que descreve o desgaste:

$$w = (1,91 \times 10^{-4})v_c^3 - (0,123)v_c^2 + (26,44)v_c - 1687 \quad (2)$$

em que,  
w – desgaste da ferramenta,  $\mu\text{m}$ ;  
 $v_c$  – velocidade de corte, m/min.

A curva de desgaste e a função mostram grande proximidade no gráfico e apresentam perfis semelhantes, indicando que a função descreve bem o desgaste nesses intervalos e pode ser usada para extrapolações.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios do aço 1045 é possível observar a influência considerável da Velocidade de Corte no processo de desgaste das pastilhas de usinagem. Foi possível observar que existe uma faixa de Velocidade de Corte (entre 200 e 225 m/min) onde desgaste das ferramentas não apresenta diferenças. Esse resultado mostra que nesta faixa pode-se adotar a maior velocidade de corte sem ocasionar grandes prejuízos a ferramenta de corte, possibilitando assim um aumento na eficiência da usinagem.

Com os resultados dos desgastes das ferramentas foi possível gerar uma função que descreve, aproximadamente, o comportamento do desgaste em função da velocidade de corte. É esperado que esta função seja um auxílio no planejamento da vida útil das ferramentas de corte no processo de usinagem de Aço 1045.

Acredita-se que este estudo tenha aplicação aos processos industriais, pois permite melhor visualização de uma situação que gera grandes problemas em processos de usinagem. É um estudo aplicável a processos constantes, visto que o percurso da ferramenta, o avanço, a profundidade de corte não mudam e são facilmente reconhecíveis. Logo, sua aplicação pode ser facilmente aplicável na indústria e pode melhorar de forma considerável a eficiência dos processos de usinagem.

Por fim, conclui-se que este estudo contribuiu no melhor entendimento a influência da velocidade de corte no desgaste de insertos de metal duro no torneamento do aço SAE 1045, sendo possível compreender melhor o fenômeno e buscar lacunas para melhoria na produção de peças.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

J.S.R.L., A.M.G e D.M.G. contribuíram com: conceitualização, análise de dados, metodologia e validação de dados e experimentos. A.M.G. e D.M.G. contribuíram com administração do projeto, supervisão e redação – revisão e edição. J.S.R.L. contribuiu com coleta de dados e redação do manuscrito original.

## AGRADECIMENTOS

Somos imensamente gratos a todos e a todas que fizeram parte deste trabalho, que nos ajudaram, nos apoiaram, nos incentivaram e que, direta ou indiretamente, contribuíram para que o realizássemos. Agradecemos, especialmente, ao Lucas Pinheiro, técnico de laboratório do IFSP, Campus Araraquara, pelo apoio, prontidão, solicitude e amizade.

## REFERÊNCIAS

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 9. ed. São Paulo: Artliber, 2014.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 1. ed. São Paulo. Edgard Blücher Ltda, 1970.

MACHADO, A. R. et al. Teoria da usinagem dos materiais. 3. ed. São Paulo. Blücher, 2015. 407 p

“**Metals handbook - machining**”, 1989. USA. ASM, vol 16.

SHAW, M. C. **Metal Cutting Principles**. Great Britan. Clarendon Press. 1984.

TAEGUTEC. **TaeguTec Cutting Tools - Metal Working Tools**: WNMG-MT: 5515093 - WNMG 060408 mt. WNMG-MT: 5515093 - WNMG 060408 MT. Disponível em: <https://www.imc-companies.com/taegutec/ttkCatalog/item.aspx?cat=5515093&fnum=297&mapp=IS&app=44&GFSTYP=M>. Acesso em: 08 fev. 2024.