

## EFEITO DA MICROTERTURIZAÇÃO A LASER EM FERRAMENTAS DE METAL DURO NA TEMPERATURA DE CORTE NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 1020

## EFFECT OF LASER MICROTERTURIZATION ON CEMENTED CARBIDE TOOLS IN THE CUTTING TEMPERATURE IN TURNING OF ABNT 1020 STEEL

Pedro Cheliga<sup>a</sup>; Álisson Rocha Machado<sup>a,b</sup>; Wagner de Rossi<sup>c</sup>;

<sup>a</sup>Programa de Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba 80215-901, Brazil:

[Pedro.cheliga@gmail.com](mailto:Pedro.cheliga@gmail.com); [alisson.rocha@pucpr.br](mailto:alisson.rocha@pucpr.br)

<sup>b</sup>Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 38408-902, Brazil: [alisson.machado@ufu.br](mailto:alisson.machado@ufu.br)

<sup>c</sup>Centro de Lasers e Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo 05508-000, Brazil: [wderossi@ipen.br](mailto:wderossi@ipen.br)

### Resumo

A textura de uma superfície é formada por asperidades e depressões normalmente não ordenadas. Uma superfície organizada e ordenada altera as propriedades e o comportamento tribológico de uma peça ou ferramenta. Dentre as técnicas utilizadas para alterar uma superfície com precisão, se destaca a microtexturização a laser. Trata-se de uma técnica relativamente nova na fabricação de texturas precisas em superfícies quaisquer, podendo ser utilizada para diversas finalidades. Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito da microtexturização a laser em ferramentas de corte de metal duro na temperatura da interface cavaco-ferramenta, no torneamento do aço ABNT 1020. Foram desenvolvidas texturas com laser de pulsos ultracurtos (femtosegundos - 10–15 s), numa área de 4 mm x 4 mm na superfície de saída de bits de metal duro, classe P30, com cunha retificada e aresta arredondada previamente. Foram utilizados quatro tipos diferentes de texturas, canais paralelos à aresta principal de corte, canais perpendiculares à aresta principal de corte, canais oblíquos (a 45°) à aresta principal de corte e do tipo “Chevron”. Estas ferramentas foram utilizadas em ensaios individuais para medição da temperatura da interface cavaco ferramenta, pelo método do termopar ferramenta-peça, no torneamento, variando-se a velocidade de corte e o avanço, tanto na condição a seco como usando MQL. Ferramentas sem texturas também foram utilizadas para comparação. Os resultados mostraram que as microtexturas auxiliam na redução da temperatura de corte, em especial para a ferramenta com microtextura paralela a aresta de corte.

**Palavras chave:** Usinagem; Microtexturização; Temperatura de corte; Laser femtosegundos.

### Abstract

The texture of a surface is formed by uneven asperities and depressions. An organized and ordered surface changes the properties and the tribological behaviour of a part or tool. Among the techniques used to alter a surface precisely, the microtexturization by laser stands out. This is a relatively new technique in the manufacture of precise textures on any surface, and can be used for several purposes. This work aims to study the effect of laser microtexturization on carbide cutting tools, in the chip-tool interface temperature in turning of ABNT 1020 steel. Textures were developed with ultrashort pulsed laser (femtoseconds - 10-15 s), in an area of 4 mm x 4 mm on the rake surface of cemented

carbide bit, P30 grade, after wedge grinding and edge honing. Four different types of textures were used, channels parallel to the main cutting edge, channels perpendicular to the main cutting edge, oblique channels (at 45°) to the main cutting edge and the "Chevron" type. These tools were used in individual tests for measurement of the chip-tool interface temperature, using the tool-workpiece thermocouple method, varying the cutting speed and the feed rate, in dry and with MQL cuts. Non-textured tools were also used for comparisons. The results showed that the microtextures help to reduce the cutting temperature, especially for the tool with microtexture parallel to the cutting edge.

**Keywords:** Machining; Microtexturization; Cutting temperature; Femtosecond lasers.

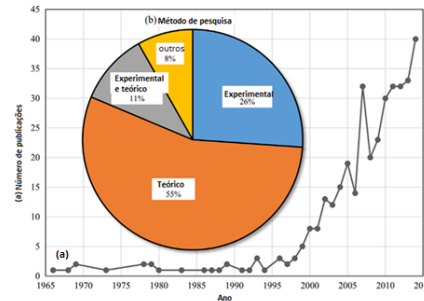
## 1. Introdução

Com o crescimento da economia, a necessidade de desenvolver uma manufatura cada vez mais eficiente, com decisões corretas baseadas em informações mais precisas, tornou-se uma necessidade para a sobrevivência de qualquer indústria manufatureira.

Desde o início dessa indústria, o processo de usinagem em específico vem sendo otimizado, com base na redução do tempo de fabricação, o qual é obtido por meio da utilização do ferramental correto e condições de corte de acordo com a capacidade da máquina e da ferramenta.

A utilização de superfícies texturizadas com a finalidade de aprimorar o desempenho de contato não é um conceito novo. Por exemplo, as estruturas de superfície especiais podem aumentar a adesão, permitindo com que rãs caminhem com segurança sobre superfícies úmidas; ou reduzindo o arrasto aerodinâmico, fazendo com que tubarões se movimentem com maior facilidade na água (Brushan et al., 2009).

Em 1996 as pesquisas sobre texturas de superfícies ganharam um novo impulso, quando um grupo de pesquisadores (Etsion et al., 1996) publicaram um de seus primeiros artigos sobre texturização de superfície. Eles realizaram testes de campo para comparar o desempenho de selos mecânicos não texturizados com os texturizados e mostraram que a texturização poderia aumentar a vida útil do selo em três vezes. A partir de então, devido aos resultados promissores obtidos, centenas de estudos teóricos e experimentais começaram a ser desenvolvidos com a finalidade de melhorar o desempenho de contatos tribológicos, como ilustrado na Figura 1 (Etsion et al., 1996).



**Figura 1.** Pesquisas realizadas na área de texturização de superfícies nos últimos 50 anos: (a) Número de publicações por ano e (b) Métodos de pesquisa. Fonte: adaptado de Gropper et al., (2015).

A forma ideal de textura superficial depende muito do tipo de contato e condições operacionais, sendo que em certos casos, as texturas foram notificadas como sendo prejudiciais, se projetadas incorretamente (Dobrica et al., 2010).

Para aplicações tribológicas onde o atrito e o desgaste são o foco principal, a mudança do conceito tradicional de superfícies isotrópicas para uma plataforma de engenharia a fim de apresentar características específicas evolui lentamente. Isso se deve ao fato das texturas de superfície geralmente aumentarem a rugosidade total da superfície, aumentando o atrito e o desgaste (Costa et al., 2017).

Processos de usinagem com alta precisão em microescalas vêm sendo desenvolvidos com o passar dos anos e atualmente existem os lasers de pulso super curto (ultrashort lasers) disponíveis em laboratórios de pesquisa, que podem gerar frequências de pulsos de luz que vão de femtosegundos (10-15 s) a picosegundos (10-12 s), com energias até centenas de microjoules e altas intensidades, na faixa de 1012-1014 W/cm<sup>2</sup>. Esses pulsos são mais curtos do que o período de vibração térmica da rede de material (faixa de 10-11 a 10-10 s), o que reduz a energia transferida ao material, implicando com que a zona afetada pelo calor seja desprezível, preservando assim as propriedades do material circundante. A usinagem com pulsos de laser permite gravar e cortar todos os tipos de materiais em uma escala altamente precisa, de nanométrica a micrométrica (Liang et al., 2003; Diels e Rudolph, 2006; Wang et al., 2010;

Samad et al., 2012). De acordo com a literatura (Nolte et al., 1997; Asthakov, 2014; Erbele et al., 2015), os lasers de femtosegundos conseguem criar uma melhor integridade da superfície do que a usinagem com lasers de nanosegundos ou picosegundos.

Em usinagem, as condições da interface cavaco-ferramenta exercem papel fundamental para o sucesso da operação. Essas condições influenciam praticamente todas as variáveis de saída importantes do processo, tais como: forças e potência, temperatura, vida e desgaste das ferramentas, qualidade da peça, etc (Machado et al., 2015).

Segundo Olleak et al. (2017), ferramentas de corte microtexturizadas devem ser mais eficientes do que as ferramentas de corte tradicionais, especialmente quando aplicadas na usinagem de ligas de materiais nobres, como as ligas de titânio e de níquel, as quais experimentam alta fricção, adesão intensa e desenvolvimentos de arestas postiças de corte (APC) quando usinados, devido à afinidade química e baixa condutividade térmica desses materiais. A superfície texturizada da ferramenta de corte contribui para uma usinagem melhorada, reduzindo a área de contato aparente geral e, por consequência, menor desgaste da ferramenta, onde menores forças e temperaturas de corte podem ser alcançadas.

Diferentes padrões de texturas podem ser aplicados, cada qual tendo um efeito diferente a ser analisado de acordo com o material a ser estudado. Kawasegi et al. (2009) por exemplo, investigaram o efeito da texturização no desempenho de ferramentas de metal duro na usinagem de ligas de alumínio a seco e com lubrificação, utilizando diferentes padrões de textura.

Este artigo tem como objetivo apresentar os efeitos de quatro padrões diferentes de texturização; sendo eles: canais paralelos à aresta principal de corte, canais perpendiculares à aresta principal de corte, canais oblíquos (a 45°) à aresta principal de corte e do tipo “Chevron”; em ferramentas de corte (bits) de metal duro na temperatura de usinagem, durante o processo de torneamento de aço ABNT1020 a seco e com MQL (mínima quantidade de lubrificante).

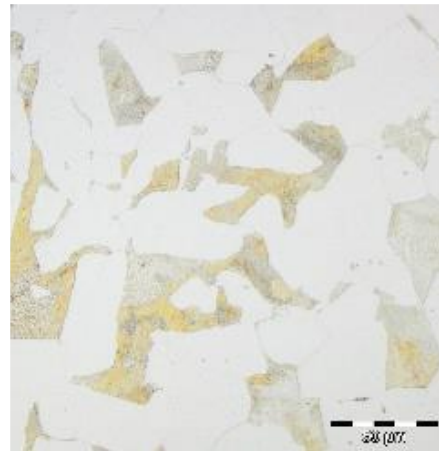
## 2. Metodologia

Antes de realizar os testes experimentais para estudar a influência da texturização a laser em ferramentas de metal duro de classe P30 na usinagem de aço baixo carbono, ABNT 1020, determinou-se os parâmetros do laser para produzir as texturas planejadas, com as dimensões de largura, profundidade e diâmetro desejadas. Após gerar as microtexturas com diferentes configurações nas ferramentas de corte, realizaram-se os testes de usinagem por torneamento, medindo-se a

temperatura de usinagem, pelo método do termopar ferramenta-peça.

### 2.1. Material da peça

Para os testes de usinagem foi utilizado uma barra de aço baixo carbono ABNT 1020 laminada, com 68 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento, com dureza média de 65HB, com composição química (0,18 a 0,23% C; 0,3 a 0,6% Mn; 0,05% S (max); 0,04% P (max) e Fe (restante). A microestrutura do material é apresentada na **Figura 2**.



**Figura 2.** Microestrutura do aço ABNT 1020, ataque com Nital 3%; ampl. 50X. Fonte: O autor, 2019.

### 2.2. Preparação dos Bits de metal duro de classe P30

As ferramentas de corte utilizadas nessa dissertação são hastes (bits) de metal duro, de classe P30, fabricadas pela FERMEC. Ao todo foram utilizados 14 bits com dimensões 10x10x100mm. Todos os bits tiveram a afiação geométrica da cunha realizada de acordo com a Tabela 1, nas duas extremidades, totalizando 28 cunhas cortantes.

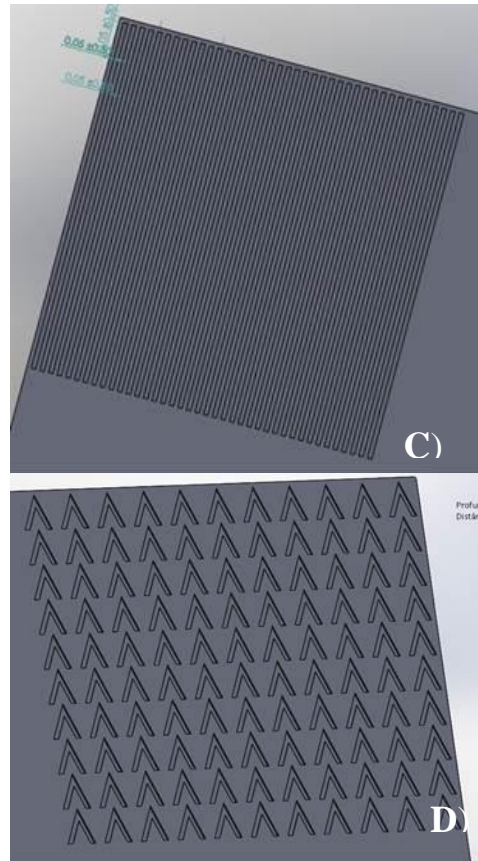
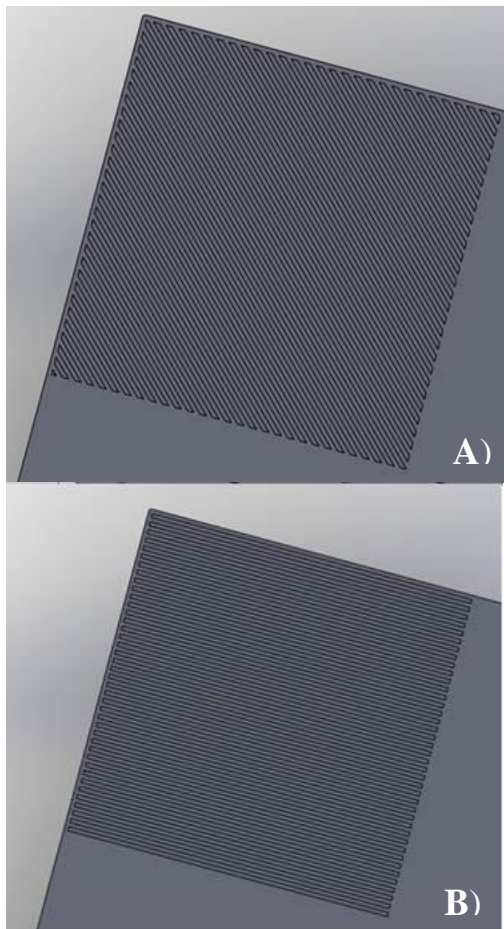
**Tabela 1.** Geometria da ferramenta de corte. Fonte: Elaboração própria

Geometria da Ferramenta de Corte	
Ângulo de Folga ( $\alpha_o$ )	5°
Ângulo de Cunha ( $\beta_o$ )	80°
Ângulo de Saída ( $\gamma_o$ )	5°
Ângulo de Inclinação ( $\lambda_s$ )	0°
Ângulo de Posição Principal ( $\chi_r$ )	75°
Ângulo de Ponta ( $\epsilon_r$ )	90°
Ângulo de Posição Secundária ( $\chi_r'$ )	15°

As ferramentas foram afiadas por WEDM (Eletroerosão a fio), usando uma máquina Charmilles ROBOFIL 290, e na sequência elas foram retificadas com um rebolo de CBN em uma afiadora universal. A usinagem por eletroerosão foi realizada com um fio de latão de espessura de 0,25mm.

### 2.3. Preparação das microtexturas

Após afiadas e com suas arestas devidamente arredondadas com raio de aproximadamente 0,30  $\mu\text{m}$ , pelo processo *drag finishing*, as ferramentas foram enviadas para o Laboratório de laser do IPEN (Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares - USP), as quais passaram pelo processo de microtexturização a laser. As texturas obtidas foram de orientação paralelas, perpendiculares, 45° com relação a aresta de corte, e em “V” (*chevrons*) na direção da aresta de corte, como ilustradas na **Figura 3**.



**Figura 3.** Detalhes das texturas estudadas nesta pesquisa, todas com profundidade de 0,03mm, canais com largura de 0,05mm, espaçamento entre eles de 0,05mm, distância das extremidades de 0,05mm e a área total microtexturizada foi de 4mmx4mm. A) 45°. B) Perpendicular. C) Paralelas. D) “V” (Chevrons). Fonte: O Autor, 2019.

Foi utilizado um equipamento de laser (Nd:YAG) femtosegundos, com um feixe laser com perfil Gaussiano com um ponto focal de 3,6  $\mu\text{m}$ . Utilizando um programa de usinagem específico (Cadcam), é possível usinar canais com formas e dimensões bem controladas, dependendo dos parâmetros de usinagem: diâmetro da ferramenta, a distância entre os centros das linhas paralelas e a profundidade de corte, ou seja, a profundidade ablacionada em cada camada.

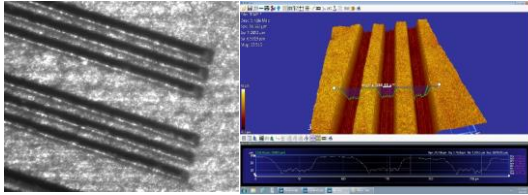
Foram feitos alguns pré-testes para se conseguir as dimensões desejadas dos canais das texturas. A **Figura 4** **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra alguns dos canais produzidos nesta etapa. Na melhor condição, adotada para produção das texturas finais, os parâmetros obtidos foram:

Energia  $E = 4,0 \mu\text{J}$ ,

- Taxa de repetição  $F = 10 \text{ kHz}$ ,
- Velocidade de processo:  $V = 1,5 \text{ mm/s}$
- Sobreposição lateral de trilhas = 3,5  $\mu\text{m}$

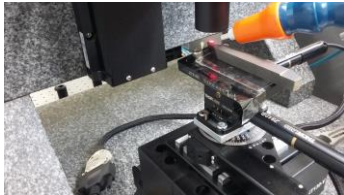
O efeito da microtexturização a laser em ferramentas de corte de metal duro, classe P30, durante o processo de usinagem do aço ABNT1020.

- Profundidade de cada camada ablacionada: 10  $\mu\text{m}$



**Figura 4.** Canais obtidos durante os pré-testes para obtenção das melhores condições de usinagem. A figura à direita mostra uma imagem de perfilometria dos canais. Fonte: O autor, 2019.

A **Figura 5** mostra a ferramenta posicionada sobre um goniômetro na mesa de deslocamento, pronta para receber a texturização a laser.

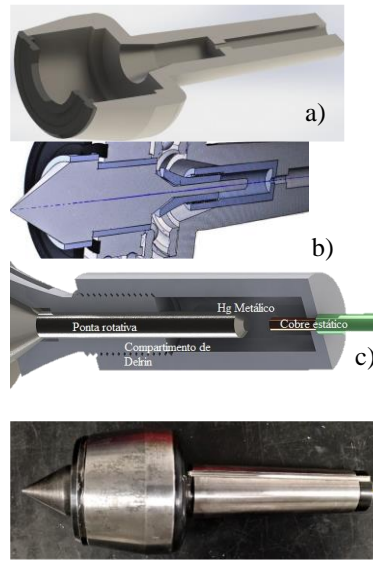


**Figura 5.** A ferramenta sobre o goniômetro e sobre a mesa de deslocamento. Fonte: O autor, 2019.

Foi utilizado o mesmo perfil de canais para todas as formas de texturas estudadas.

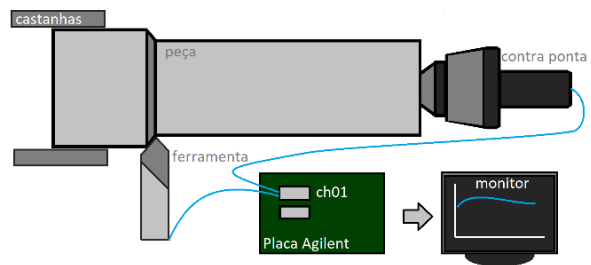
## 2.4. Sistema de medição da temperatura da usinagem

O método de medição da temperatura utilizado nesta pesquisa foi do termopar ferramenta-peça (Machado et al., 2015). Este método mede a temperatura máxima da interface cavaco ferramenta. Favaretto (2017) desenvolveu um sistema baseado nesse método, utilizando uma ponta rotativa (ou contra-ponta) modificada, para levar o sinal gerado na interface cavaco-ferramenta que é conduzido pela peça em movimento rotativo até o sistema de aquisição de dados. Para tanto utiliza-se um reservatório de mercúrio metálico, conforme mostrado na **Figura 6**.



**Figura 6.** a) - Corte central do corpo da ponta rotativa; b) – Detalhes internos da ponta rotativa; c) – Identificação dos elementos internos; d) foto da ponta rotativa modificada. Fonte: Favaretto, 2018.

A montagem do sistema é apresentada esquematicamente na **Figura 7**. A peça (barra cilíndrica de aço ABNT 1020) é isolada eletronicamente das castanhas do torno mecânico em uma extremidade e na outra suportada pela ponta rotativa modificada por um furo cônico de centro de 30°. A ferramenta de corte é fixada no castelo sem haver contato elétrico entre eles, onde foi utilizado uma fita adesiva como isolante elétrico.



**Figura 7.** Esquema do sistema de medição de temperatura no torneamento. Fonte: Favaretto, 2018.

A placa de aquisição foi configurada para adquirir dados na frequência de 30Hz, durante o intervalo de tempo de 5 segundos de usinagem, para cada ensaio de temperatura.

Os testes foram realizados em um torno convencional Tormax 30A, fabricado pela Indústrias Romi S.A, com potência de 6 cv. Incialmente foi fixada a profundidade de corte em 1,0 mm, e o avanço em 0,151

mm/rot, variando-se a velocidade de corte em 12, 45, 76, 120, 192, 239 m/min (diâmetro: 68mm). Depois fixou-se a profundidade de corte também em 1,0 mm e a velocidade de corte em 96 m/min e variou-se o avanço em: 0,062; 0,151 e 0,327 mm/rot.

Estes ensaios foram desenvolvidos para todos os tipos de texturas dos bits (paralelos, perpendiculares, 45° e em perfil “V”) e também nos bits sem textura, primeiro a seco e depois com a aplicação de fluido de corte por MQL (mínima quantidade de lubrificante) da marca Accu-lube LB1000, fabricado pela ITW Chemical Products, de base vegetal e biodegradável. A vazão do fluido foi de aproximadamente 200 ml/h com pressão de ar de 5 bar. Para cada tipo de ensaio (variando o avanço e variando a velocidade de corte) se trocava a aresta de corte da ferramenta para uma nova.

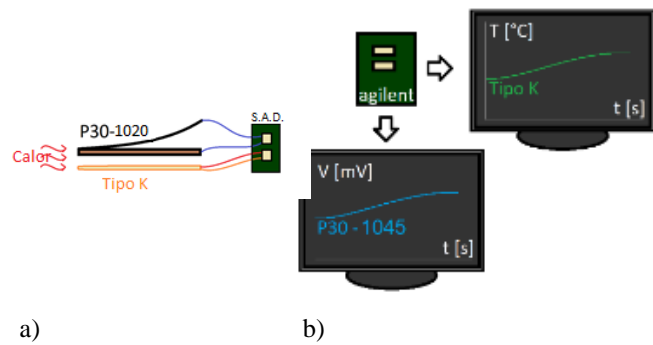
## 2.5. Calibração do termopar ferramenta-peça

O material utilizado no processo de usinagem, aço ABNT 1020, forma um termopar com a ferramenta de corte de metal duro de classe P30 (o mesmo material de ferramenta utilizado nos ensaios deste estudo). Durante a usinagem, a interface cavaco-ferramenta se aquece, gerando um sinal de tensão proporcional à temperatura máxima da junção. Para se conhecer os valores de temperaturas, o sistema precisa ser calibrado. Este processo se inicia, soldando-se um cavaco de aço ABNT 1020 na forma de fita longa à ponta de uma haste de metal duro de classe P30 (solda prata), como apresentado na **Figura 8**. Por meio de um fio intermediador de cobre, foram conectados à placa de aquisição de sinais da *Agilent* na sua extremidade livre. A ponta soldada é então inserida no interior de um forno tipo mufla.



**Figura 8.** Termopar de aço ABNT 1020 e ferramenta de metal duro de classe P30. Fonte: O autor, 2019.

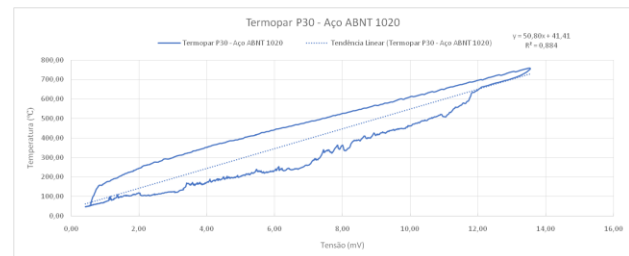
Junto com o termopar P30/1020, também foi inserido no forno um termopar tipo K (cromel/alumel) calibrado. O forno foi aquecido até 740°C gerando sinais para a curva de calibração, conforme apresentado na **Figura 9**.



a) b)

**Figura 9.** Sistema de calibração. a) termopares conectados ao sistema de aquisição de dados; b) curvas geradas pelos dois diferentes termopares. Fonte: O Autor, 2019.

A curva de calibração gerada é apresentada na **Figura 10**.



**Figura 10.** Gráfico da curva de calibração. Fonte: O autor, 2019.

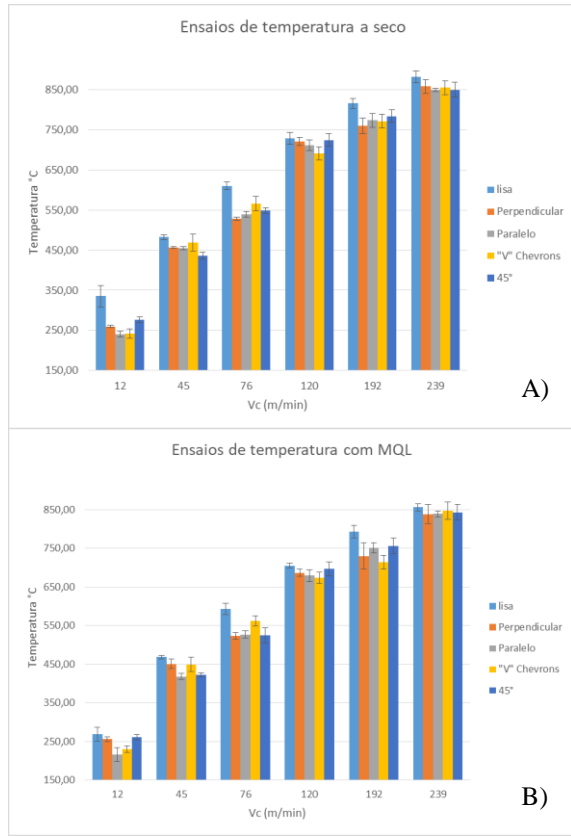
A equação correspondente, obtida por regressão linear (com índice de correlação de 99%), é apresentada abaixo.

$$T(^{\circ}C) = 50,80 * V (mV) + 41,41$$

## 3. Resultados

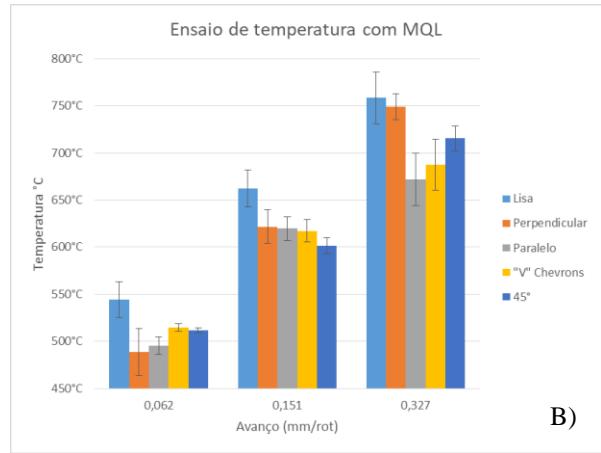
Os resultados das médias das temperaturas máximas da interface cavaco-ferramenta são apresentados para a condição a seco e com MQL, respectivamente, nas **Figura 11 A)** e **B)**.

O efeito da microtexturização a laser em ferramentas de corte de metal duro, classe P30, durante o processo de usinagem do aço ABNT1020.



**Figura 11.** Temperatura da interface cavaco-ferramenta x velocidade de corte, para as ferramentas testadas. A) Condição a seco; B) condição com MQL. Fonte: O autor, 2019.

Os resultados das temperaturas da interface cavaco-ferramenta para todas as ferramentas testadas com a variação do avanço são apresentados, respectivamente, para a condição a seco e com aplicação de fluido por MQL nas **Figura 12 A)** e B).



**Figura 12.** Temperatura da interface cavaco-ferramenta x avanço, para as ferramentas testadas. A) Condição a seco; B) condição com MQL. Fonte: O autor, 2019.

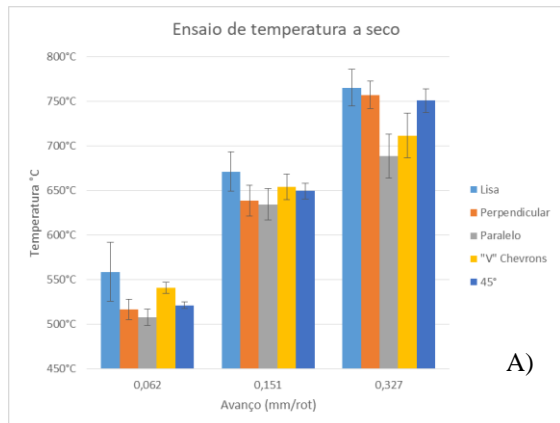
Observa-se que ao aumentar a velocidade de corte ou o avanço há um aumento na temperatura da interface cavaco-ferramenta, independente da textura utilizada e se aplicando um fluido ou usando a seco. Estes resultados eram esperados (Machado et al., 2015), uma vez que com o aumento da velocidade de corte aumenta-se a taxa de deformação e a geração de calor; e com o aumento do avanço aumenta-se a espessura de corte e a energia necessária para se formar o cavaco; consequentemente aumenta-se a temperatura da interface cavaco-ferramenta.

Analisando os resultados dos ensaios de temperatura da interface cavaco-ferramenta, tanto na condição a seco como utilizando o fluido de corte na forma de MQL, nota-se que as ferramentas com a superfície de saída microtexturizadas apresentaram menores valores de temperatura do que a ferramenta lisa.

Para os ensaios variando-se a velocidade de corte a seco e com MQL (**Figura 11 A)** e B), as diferenças médias das temperaturas máximas das ferramentas microtexturizadas em relação à temperatura média da ferramenta lisa foram (**Tabela 2**):

**Tabela 2.** Diferença média das temperaturas máximas das ferramentas microtexturizadas em relação à temperatura média das ferramentas lisas, para os ensaios variando a velocidade de corte. Fonte: O autor, 2019.

Ferramenta:	Variação testes a seco:	Variação testes com MQL:
Paralelo	-7,5%	-6,9%
Perpendicular	-7,1%	-5,4%
"V" - Chevrons	-6,8%	-5,6%
45°	-6,1%	-4,9%



Para os ensaios variando-se o avanço a seco e com MQL (**Figura 12 (A) e (B)**), as diferenças médias das temperaturas máximas das ferramentas microtexturizadas em relação à temperatura média da ferramenta lisa foram (**Tabela 3** **Tabela 2**):

**Tabela 3.** Diferença média das temperaturas máximas das ferramentas microtexturizadas em relação à temperatura média das ferramentas lisas, para os ensaios variando o avanço. Fonte: O autor, 2019.

Ferramenta:	Variação testes a seco:	Variação testes com MQL:
Paralelo	-8,1%	-9,1%
"V" - Chevrons	-4,5%	-7,4%
Perpendicular	-4,2%	-5,4%
45°	-3,7%	-6,9%

Ainda não está totalmente compreendido como que as texturas atuam para facilitar a usinagem, no caso sendo avaliada por meio da temperatura da interface cavaco-ferramenta. Elas podem reduzir a área real de contato cavaco-ferramenta; podem facilitar o processo de deformação na zona de fluxo (Trent e Wright, 2000) pela maior ancoragem do material nas condições de aderência; e podem ainda servir de reservatórios de lubrificantes. Todos esses fatores contribuem para reduzir o atrito, os esforços e a geração de calor e, conseqüentemente, a temperatura da interface cavaco-ferramenta.

Com os resultados dos testes de temperatura, tanto na condição a seco como aplicando fluido na forma de MQL, conclui-se que a aplicação de microtexturas na superfície de saída das ferramentas de corte foi efetiva tanto na redução da área real de contato cavaco-ferramenta, como também facilitando a deformação do material na zona de fluxo. Desta forma, diminuindo a energia necessária para que ocorra o cisalhamento do cavaco e assim a temperatura de corte.

A ferramenta com microtextura paralela apresentou os melhores resultados, com reduções da temperatura máxima média entre 6,9% a 9,1% durante os ensaios. Olleak e Özel (2017) encontraram resultados similares, com reduções de temperatura para a microtextura com canais paralelos à aresta de corte, entretanto, dentre as 5 microtexturas testadas, ela não foi a que obteve o melhor desempenho e sim a ferramenta com a superfície de saída com microtextura na forma de calotas.

Comparando os resultados gerais obtidos na condição a seco com aqueles aplicando fluido de corte, observa-se que não houve diferenças consideráveis nas temperaturas máximas da interface cavaco-ferramenta.

Quando se variou a velocidade de corte, os percentuais de redução das temperaturas nos ensaios com MQL, para cada ferramenta testada foram (**Tabela 4**):

**Tabela 4.** Percentuais de redução das temperaturas nos ensaios com MQL, para cada ferramenta testada nos ensaios variando a velocidade de corte. Fonte: O autor, 2019.

Ferramenta:	Variação:
Lisa	-4,4%
Paralela	-3,8%
"V" - Chevrons	-3,2%
45°	-3,2%
Perpendicular	-2,7%

Quando se variou o avanço esses percentuais foram (**Tabela 5**):

**Tabela 5.** Percentuais de redução das temperaturas nos ensaios com MQL, para cada ferramenta testada nos ensaios variando o avanço. Fonte: O autor, 2019.

Ferramenta:	Variação:
Lisa	-1,6%
Paralela	-2,4%
"V" - Chevrons	-4,6%
45°	-4,9%
Perpendicular	-2,8%

Desta forma, a possível ação das microtexturas de servir como reservatórios de lubrificantes não foi marcante o suficiente para reduzir a temperatura em valores mais significativos.

#### 4. Conclusão

- As microtexturas podem ser utilizadas para a redução da temperatura na interface cavaco ferramenta.
- As ferramentas com microtexturas de orientação paralela à aresta de corte foram as que apresentaram maiores reduções nas temperaturas da interface cavaco-ferramenta.
- A redução média de temperatura apresentada pela ferramenta com microcanais paralelos, quando comparada com a ferramenta lisa ficou, respectivamente para o ensaio variando a velocidade de corte a seco e com MQL, em 7,5% e 6,9%. Para o ensaio variando o avanço os valores de redução média ficaram, respectivamente, em 8,2% e 9,1%.
- Nas condições ensaiadas, a aplicação do fluido de corte na forma de MQL não foi efetiva em reduzir a temperatura da interface cavaco-ferramenta, apresentando apenas pequenos percentuais de diferenças.



## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao PPGEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, ao técnico Rogério Ferreira da Silvapelo apoio técnico nos testes experimentais e ao IPEN pelo desenvolvimento das texturas a Laser.

## 6. Referencias

ASTAKHOV, V. P. Drills: Science and technology of advanced operation. **New York: CRC Press**. 888 p.

BHUSHAN, B. Biomimetics: lessons from nature – an overview. **Philosophical transactions**, The Royal Society, v. 367, Issue 1893, abr., 2009. 1445-1486 p.

COSTA H. L. et al., Hydrodynamic lubrication of textured steel surfaces under reciprocating sliding conditions. **Tribol Int**, 2007, 40: 1227–38p.

DINIZ, A.E. et al. Otimização das condições de usinagem em células. **Máquinas e Metais**, São Paulo, Aranda Editora, n.281, jun., 1989. 48-54 p.

DIELS, J-C.; Rudolph, W. Ultrashort laser pulse phenomena. 2nd Edition. **New York: Academic Press**, 2006, 680 p.

DOBRICA, M.B. et al. Optimizing surface texture for Hydrodynamic lubricated contacts using a mass-conserving numerical approach. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology**, SAGE Publications, v. 224, Issue 8, jun., 2010. 737-750 p.

ERBELE, G. et al. Laser fabrication of diamond micro-cutting tool-related geometries using a high-numerical aperture micro-scanning system. **Int. J. Adv. Manuf. Technol**, V. 81, 2015. 1117-1125 p.

ETSION, I. BURSTEIN, L. A model for mechanical seals with regular micro surface structure. **Tribology Transactions**, Taylor Francis Online, v. 39, Issue 3, mar., 2008. 677- 683 p.

FAVARETTO, V. A. **Influência do ângulo de saída da ferramenta de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta no torneamento de aço ABNT 1045**. Tese (Graduação) - Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia universidade católica do Paraná. Curitiba, 1-10 p. 2017.

GROPPER, D. et al. Hydrodynamic lubrication of textured surfaces: A review of modeling techniques and key findings. **Tribology International**, Elsevier, v. 94, feb., 2016. 509-529 p.

KAWASEGI, N. et al. Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior. **Precision Engineering**, Elsevier, v. 33, Issue 3, jul. 2009. 248–254 p.

LIANG, W.L. et al. Micromachining of circular ring microstructure by femtosecond laser pulses. **Optics & Laser Technology**, Elsevier, v. 35, Issue 4, jun., 2003. 285-290 p.

MACHADO, A. R. et al. Teoria da Usinagem dos Materiais. 3ª ed. São Paulo; Blucher; 2015.

NOLTE, S. et al. Ablation of metals by ultrashort laser pulses. **Journal Optical Society of America B**, Optical Society of America, v. 14, Issue 10, out., 1997. 2716-2722 p.

OLLEAK, A.; ÖZEL, T. 3D Finite element modeling based investigations of micro-textured tool designs in machining titanium alloy Ti- 6Al-4V. **Procedia Manufacturing**, Elsevier, v. 10, dez., 2017. 536-545 p.

SAMAD, R.E. et al. Ultrashort laser pulses machining. In: Laser Pulses. **Theory, technology and applications**. 2012. Prof. Igor Peshko, editor, InTech, p.143-174.

TRENT, E.M.; WRIGHT, P.K., Metal Cutting, Butterworth-Heinemann, 4<sup>th</sup> Edition, 2000, 464 pgs.

WANG, X.C. et al. High Quality Femtosecond Laser Cutting of Alumina Substrates. **Optics and Laser in Engineering**, 2010, Vol. 48, p. 657-663.