

CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCÓPIA ÓPTICA 3D DE FERRAMENTA DE CORTE TEXTURIZADA POR LASER DE FEMTOSSEGUNDOS

Tatiana Dias Santana, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; Mahr do Brasil, tatianasantana@usp.br.

Wagner de Rossi, Centro de Lasers e Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, wderossi@ipen.br

Patrícia Alves Barbosa, Universidade Federal do Espírito Santo, patricia.a.barbosa@ufes.br

Marcelo Bertolete Carneiro, Universidade Federal do Espírito Santo; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia de São Carlos, marcelo.b.carneiro@ufes.br

***Resumo.** As superfícies possuem características que podem impactar no coeficiente de atrito, na adesão de filmes e células, na retenção de fluidos lubrificantes, em aspectos ópticos, químicos e mecânicos. Dessa forma, muitos parâmetros foram criados com intuito de caracterizar as superfícies após um determinado processo de manufatura. Em geral, os equipamentos utilizados para realizar tal tarefa são categorizados em com e sem contato com as superfícies em avaliação. Nos processos de usinagem convencional, condições severas de atrito na interface cavaco-ferramenta aumentam o desgaste da ferramenta e reduz o seu tempo de vida. A habilidade do fluido de corte penetrar na zona de corte pode ser melhorada pela texturização da superfície de saída da ferramenta. Neste trabalho, uma ferramenta de corte foi texturizada com o uso de um laser de femtossegundos, e caracterizada com o uso de um microscópio óptico 3D com tecnologia confocal que garante medições precisas da topografia, sem contato.*

***Palavras chave:** laser de femtossegundos, texturização, ferramenta de corte, microscopia óptica 3D, topografia*

1. INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação influenciam o acabamento superficial das peças fabricadas, promovendo alterações dos aspectos superficiais e sub-superficiais, que podem interferir no funcionamento dos componentes (Machado *et al.*, 2015). Sabe-se que a topografia de uma superfície tem influência significativa no comportamento do atrito e na resistência ao desgaste (Zhang *et al.*, 2013). Adicionalmente, Kawagesi *et al.* (2009) citam que a texturização de superfícies sólidas, a partir de tecnologias de micro e nanousinagem, permite o controle de propriedades tribológicas, ópticas e mecânicas.

Nos processos de usinagem convencional, o acabamento superficial gerado pela ferramenta de corte é influenciado pelas características do material da peça que está sendo usinado, pelas condições de corte (avanço, profundidade de corte e velocidade de corte), pela geometria da ferramenta (raio de ponta e ângulos que favoreçam o corte), pelo uso de fluido de corte e pela rigidez da máquina-ferramenta (Kawagesi *et al.*, 2009; Machado *et al.*, 2015). Por outro lado, há estudos que demonstram que ferramentas de corte texturizadas podem melhorar o acabamento das peças usinadas, podendo, inclusive, aumentar o desempenho destas (Bertolete *et al.*, 2018). Kawagesi *et al.* (2009) citam que a texturização diminuiu a força de corte graças a redução do atrito na interface cavaco-ferramenta. Além disso, Neves *et al.* (2006) observaram aumento da vida útil em ferramentas texturizadas e em seguida revestidas, quando comparadas com ferramentas de corte revestidas, mas não texturizadas, trabalhando sob as mesmas condições. Seguindo o mesmo raciocínio, Youqiang *et al.* (2013) mencionam que a topografia da superfície da ferramenta tem influência significativa no comportamento do atrito e na resistência ao desgaste, e que a texturização é uma forma efetiva de melhorar as propriedades tribológicas entre as superfícies em movimento relativo.

Lasers de femtossegundos são caracterizados por sistemas que geram centenas de pulsos de luz com duração temporal de femtossegundos (fs, 10^{-15} s), com energia da ordem de dezenas a centenas de microjoules e com elevada densidade de potência (10^{12} - 10^{14} W/cm²). Isso implica na capacidade de remoção de material (ablação), principalmente, por evaporação, com dimensões micro e nanométricas, com mínima difusão térmica para a estrutura da peça, mínima zona afetada pelo calor e reduzida quantidade de material fundido e ressolidificado. Consequentemente, as propriedades da região adjacente a ablacionada são melhor preservadas (Wang *et al.*, 2010; Samad *et al.*, 2012).

Portanto, baseado no exposto acima, o objetivo do trabalho é caracterizar a textura feita a partir de laser de femtossegundos em uma ferramenta de corte, demonstrando o seu dimensional e o desvio causado pelo sistema de microusinagem. Para tanto, foi utilizada uma máquina óptica 3D com tecnologia confocal.

2. METODOLOGIA

Uma ferramenta de corte não revestida de metal duro, cuja especificação do inserto é TPUN 160304, BA55 do fabricante Brassinter, fora texturizada em uma estação de laser de Ti:Safira de femtossegundos. O sistema de laser gerou pulsos com largura temporal de 30 fs, comprimento de onda de 785 nm e taxa de repetição de 10 kHz. A energia utilizada foi de 4 μ J, com o feixe focado em relação peça por uma lente com distância focal de 20 mm.

A texturização foi feita com uma estrutura linear, com 10 canais paralelos entre si, a partir de um modelo CAD (Fig. 1(a)), que permitiu a geração de um código CNC para ser executado na estação de laser, conforme demonstrado na Fig. 1(b).

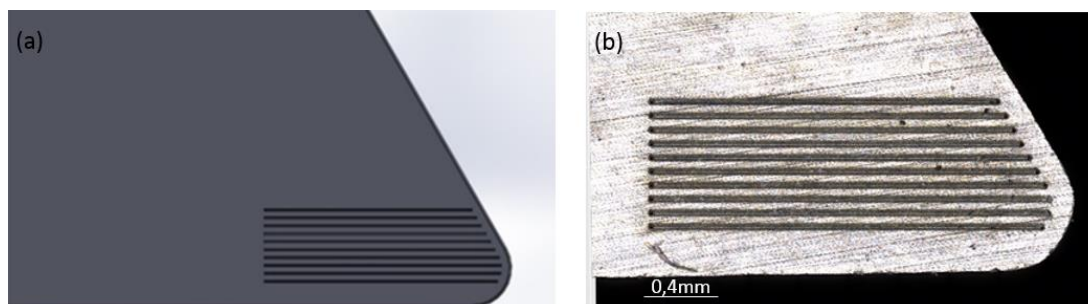


Figura 1. Texturização. (a) Modelo teórico de texturização (b) Ferramenta de corte texturizada

Para a caracterização da textura sobre a superfície de saída da ferramenta, foram determinadas algumas características do perfil, tais como, profundidade, passo e largura dos canais, que por sua vez foram condições de projeto, ver Fig. 2.

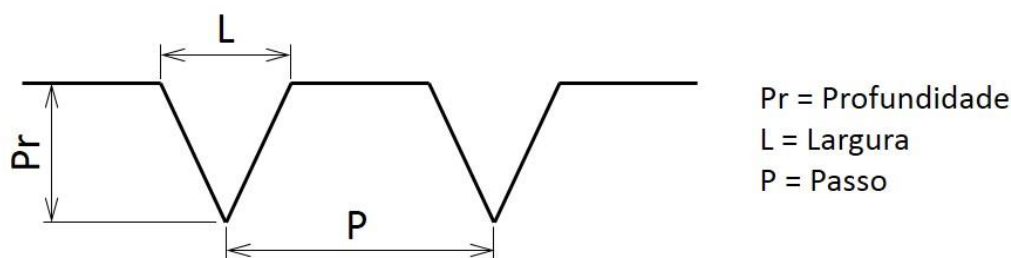


Figura 2. Dimensões para a avaliação dimensional da textura

O equipamento selecionado para a caracterização das amostras é um microscópio óptico 3D, modelo CM Explorer, do fabricante Mahr GmbH. Para a aquisição dos pontos, o equipamento usa o método confocal, com camera HDR (High Definition Resolution) de 16 bits. Conforme mostra a Fig. (3a), o método consiste de uma fonte LED de luz (1) que é focada através de um disco (2) multiperfurado (multi-pinhole-disc) e por uma lente objetiva (3) sobre a peça. O feixe de luz é refletido de volta em direção ao sistema de medição. Para cada furo no disco, a luz refletida é reduzida para a porção que está no foco. Na sequência, a luz do feixe é defletida por um divisor (4) e capturada pela câmera de alta definição (5). Por causa da rotação do disco multiperfurado a superfície é escaneada integralmente, sem interferência por espalhamento de luz. Cada medição é composta por mais de 1000 imagens, com máxima intensidade de luz no foco daquilo que pode ser medido. A câmera possui resolução de 1200 pixels, totalizando 1.440.000 pontos medidos por área escaneada. A lente objetiva selecionada para este trabalho, possui ampliação de 50x, cuja capacidade em termos área de avaliação é de 0,320 x 0,320 mm, totalizando 0,1024 mm² por área analisada. Para uma área total de 1 x 1 mm planejada para esta caracterização, de acordo com a Fig. (3b), a programação da máquina requer um arranjo de pelo menos 10 x 10 áreas individuais, totalizando 100 medições por avaliação de área total. Na Figura (3c) tem-se a dimensão da região texturizada sobre a superfície de saída da ferramenta.

Após a avaliação dessas regiões pelo equipamento CM Explorer, uma nuvem de dados com aproximadamente $1,44 \times 10^8$ pontos por aresta, para uma área de 1 x 1 mm, permitiu gerar a topografia mostrada na Fig. (4a) para posterior análise. A avaliação dos perfis foi feita através de 3 seções 2D (à Esquerda, Meio e à Direita), destacadas em vermelho. Na Figura (4b) tem-se um perfil 2D representativo da textura.

Os dados foram analisados por estatística descritiva através de média, intervalo de confiança, valores de mínimo e máximo e desvio-padrão. Análises de variância com nível de significância de 5% também foram executadas para estudar diferença significativa para as características do perfil da textura em diferentes posições de avaliação.

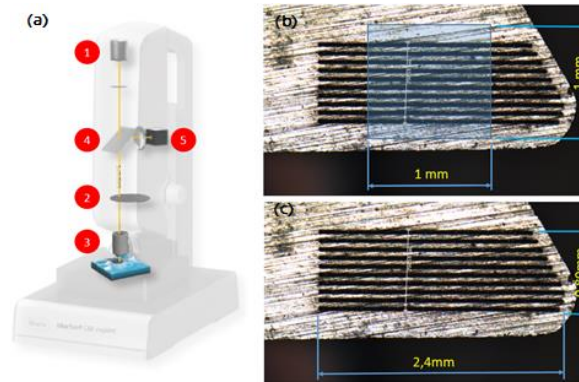


Figura 3. Sistema confocal. (a) Princípio de funcionamento; (b) Área de medição para a caraterização; (c) Dimensões da área texturizada

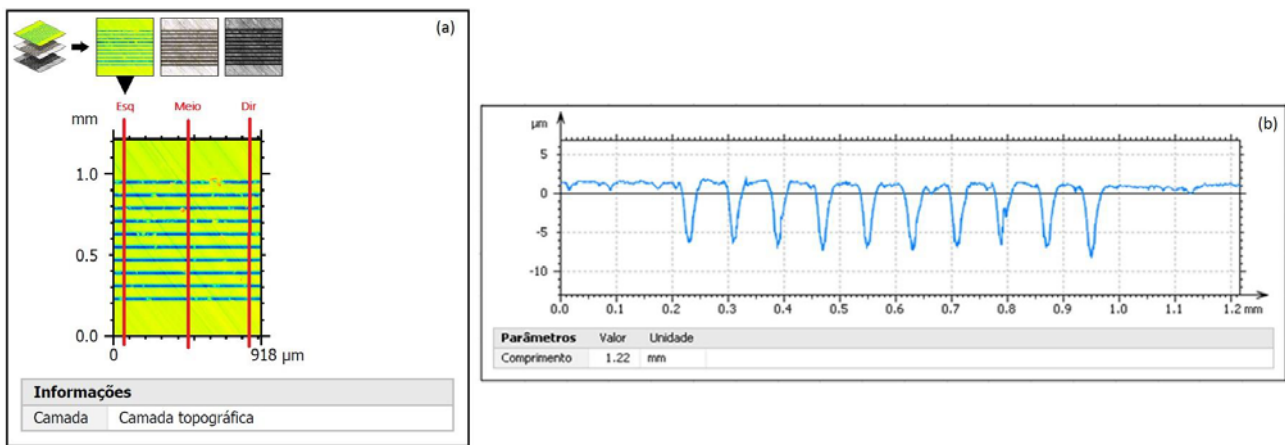


Figura 4. Esquema para análise. (a) Área digitalizada da ferramenta; (b) Vista do perfil de avaliação

3. RESULTADOS

A Figura (5) é uma representação 3D e 2D da área de avaliação texturizada. Por ela percebe-se que o perfil dos canais tem forma em “V”. A função desejada da textura é modificar o sistema tribológico na interface cavaco-ferramenta em condições de usinagem à seco e/ou lubrificado, visando aumentar o desempenho da ferramenta de corte.

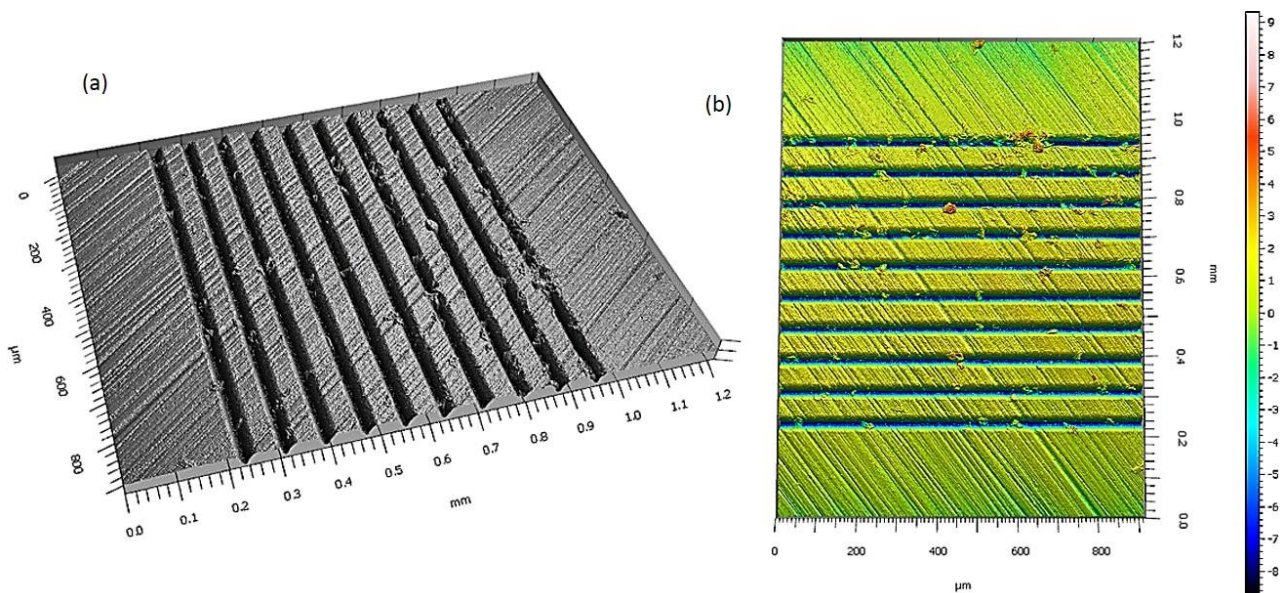


Figura 5. Área texturizada. (a) Topografia 3D; (b) Topografia 2D

A avaliação da textura realizada no microscópio óptico 3D, CM Explorer, foi feita a partir das características da seção do perfil, conforme a imagem representativa apresentada na Fig. (6). Posteriormente os dados foram tabulados.

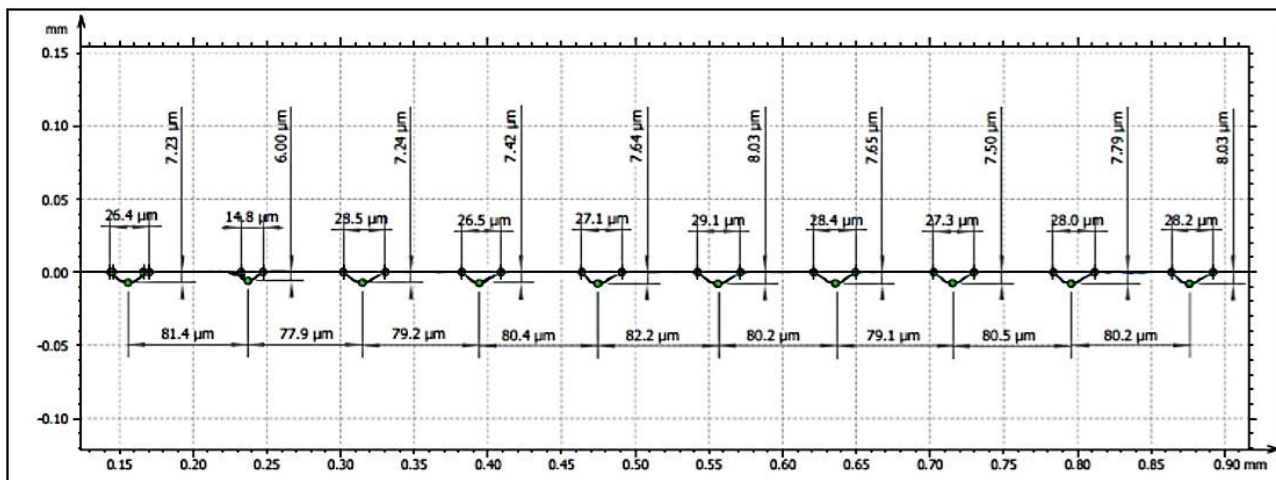


Figura 6. Modelo de resultado pós-cálculo das características da textura.

Na Tabela (1) tem-se o número de observações (N), média, intervalo de confiança (IC±95%), valores mínimo e máximo, além do desvio-padrão para as medições das características profundidade, largura e passo da textura.

Tabela 1. Resultado dimensional da textura

	Valores em [µm]						
	N	Média	IC-95%	IC+95%	Mínimo	Máximo	Desvio-Padrão
Profundidade	30	7,589	7,324	7,855	5,610	9,090	0,711
Largura	30	27,097	25,899	28,295	14,800	32,200	3,208
Passo	27	80,078	79,477	80,679	76,700	84,100	1,519

Pela tabela pode-se notar que a profundidade média das texturas foi de 7,589 µm com desvio-padrão inferior a 1 µm, o que significa que o controle da intensidade do feixe de laser é bastante preciso. A largura média dos canais da textura foi de 27,097 µm com dispersão de aproximadamente 3 µm. Esta maior dispersão, embora pequena, pode estar associada aos efeitos de ionização do meio para a formação do plasma. Finalmente, o passo entre os canais teve média de 80,078 µm com desvio-padrão de 1,519 µm. O desvio está relacionado com a precisão de resposta dos eixos de acionamento ao comando numérico do sistema de laser. Samad *et al.* (2012) também associaram a precisão de sistemas de laser de pulsos ultracurtos à precisão dos eixos coordenados da máquina. Por fim, nota-se que os valores de IC e mínimo e máximo estão bem próximos, o que reforça a precisão do equipamento de microusinagem.

Uma análise estatística foi feita para verificar se existe diferença nas características da textura ao longo das posições de avaliação. Os resultados mostraram que não existe diferença significativa para um nível de confiança de 5%. Na Figura (7) tem-se os gráficos de efeitos com médias e intervalos de confiança. Nota-se que as características tiveram resultados muito próximos entre si, quando se varia as posições de avaliação. A profundidade média dos canais variou cerca de 3%. A variação média da largura foi de quase 4%. Finalmente, o passo apresentou variação entre as médias inferior a 0,1%. Observações semelhantes foram reportadas por Bertotele *et al.* (2018) utilizando sistema de laser e material de peça similares.

4. CONCLUSÕES

O equipamento de microscopia óptica 3D foi capaz de promover o levantamento topográfico da superfície texturizada, permitindo a caracterização de aspectos micrométricos da textura. A partir da tabulação dos dados pôde-se avaliar a precisão do sistema de laser utilizado, bem como afirmar com confiança estatística que ao longo da usinagem dos canais, o laser remove material da mesma maneira.

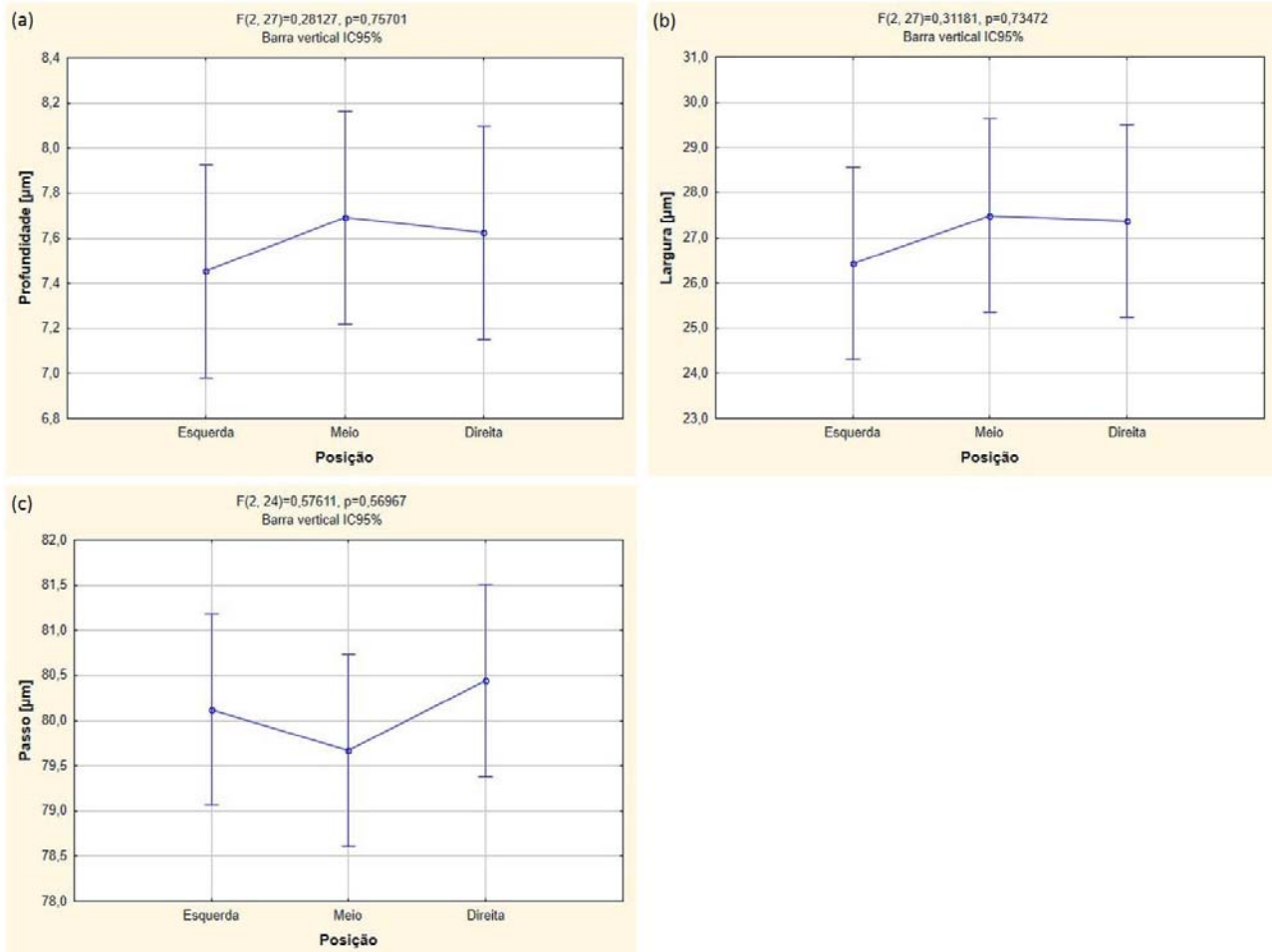


Figura 7. Gráficos de efeito. (a) Profundidade; (b) Largura; (c) Passo

3. REFERÊNCIAS

- Bertolete, M., Barbosa, P.A., Machado, Á.R., Samad, R.E., Vieira Jr., N.D., Vilar, R., de Rossi, W., 2018, "Effects of texturing the rake surfaces of cemented tungsten carbide tools by ultrashort laser pulses in machining of martensitic stainless steel", *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, v. 98, p. 2653-2664.
- Kawasegi, N., Sugimori, H., Morimoto, H., Morita, N., Hori, I., 2009, "Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior", *Precision Engineering*, v. 33, p. 248-254.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., da Silva, M.B., 2015, "Teoria da Usinagem dos Materiais", São Paulo: Edgard Blücher, 3ª Ed., 408 p.
- Neves, D., Diniz, A.E., de Lima, M.S.F., 2006, "Efficiency of the laser texturing on the adhesion of the coated twist drills", *Journal of Materials Processing Technology*, v. 179, p. 139-145.
- Samad, R.E., Machado, L.M., Vieira Jr., N.D., de Rossi, W., 2012, "Ultrashort laser pulses machining. In: Laser Pulses – Theory, technology and applications", Prof. Igor Peshko, editor, InTech, p.143-174.
- Youqiang, X., Jianxin, D., Xiuting, F., Sheng, Y., "Effect of laser surface texturing on Si3N4/TiC ceramic sliding against steel under dry friction", *Materials and Design*, v. 52, p. 234-245, 2013.
- Wang, X.C., Zheng, H.Y., Chu, P.L., Tan, J.L., Teh, K.M., Liu, T., Ang, B.C.Y., Tay, G.H., 2010, "High Quality Femtosecond Laser Cutting of Alumina Substrates", *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 48, p. 657-663.
- Zhang, K., Deng, J., Xing, Y., Li, S. & Gao, H., 2015, "Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions", *Appl. Surf. Sci.* 326, 107-118.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Capes e a FAPESP (2013/26113-6).

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.