

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

ESTUDO DAS TENSÕES RESIDUAIS E DA RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 1050 COM FERRAMENTAS DE CORTE CONVENCIONAL E WIPER

Eduardo Leite Tavares¹ – eduardolt@id.uff.br

Mateus Campos Martins¹ – mateuscampos@id.uff.br

Tatiane de Campos Chuvas² – tatichuvas@gmail.com

Maria Cindra Fonseca¹ – mcindra@vm.uff.br

¹Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC - Niterói, RJ, Brasil

²Departamento de Engenharia Mecânica - CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ

Resumo. Os aços ferramenta são utilizados na fabricação de matrizes, ferramentas e componentes estruturais na indústria metal-mecânica. Na fabricação desses produtos, são usados processos de usinagem, tais como o torneamento convencional. Assim como todos os processos de fabricação, o torneamento introduz tensões residuais nos componentes usinados. Dependendo da natureza, distribuição e magnitude, as tensões residuais podem ser benéficas ou deletérias para as peças em serviço, principalmente quanto à resistência à fadiga e à corrosão sob tensão. A qualidade do acabamento superficial, caracterizado pela rugosidade média, apresenta grande influência na vida em fadiga dos materiais usinados, assim como as tensões residuais. No presente trabalho, foi estudado o comportamento das tensões residuais e da rugosidade geradas no torneamento do aço ferramenta SAE 1050, com ferramenta de corte de diferentes geometrias e usando diferentes regimes de corte. As tensões residuais foram medidas por difração de raios-X pelo método do $\text{sen}^2\psi$. Os resultados indicaram tensões residuais de maiores magnitudes na direção transversal em todas as amostras. Notou-se que um melhor acabamento superficial pode ser obtido empregando-se ferramentas de corte wiper com avanços mais elevados.

Keywords: torneamento, tensões residuais, difração de raios-X, rugosidade média, aço SAE 1050.

1. INTRODUÇÃO

O aço ferramenta SAE1050 é um material que apresenta propriedades mecânicas, tais como elevada resistência mecânica, resistência à abrasão, boa tenacidade e boa usinabilidade, por isso é empregado principalmente na fabricação de ferramentas, matrizes e componentes mecânicos nas diversas áreas industriais (Callister, 2007).

As tensões residuais estão presentes em praticamente todos os componentes, estruturas e tubulações. Elas são decorrentes dos processamentos metalúrgicos ou mecânicos, aos quais os materiais estiveram submetidos e podem influenciar as propriedades mecânicas dos materiais, principalmente a resistência à fadiga e à corrosão sob tensão (El-Axir *et al.* 2017). Na usinagem, as tensões residuais são o resultado de deformações plásticas não homogêneas provocadas pela ação mecânica da ferramenta de corte sobre a peça e/ou pelos efeitos térmicos, que podem até causar transformações de fases e, conseqüentemente, variações volumétricas no material (Nobre & Outeiro, 2015). Está bem estabelecido que tensões residuais de natureza trativa presentes na superfície de um material, ao se somarem às tensões de serviço, podem provocar nucleação e propagação de trincas e levar à ruptura prematura do componente, enquanto que as tensões residuais compressivas favorecem longa vida em fadiga e aumentam a resistência à corrosão sob tensão, além de inibir a nucleação e a propagação de trincas (Cindra Fonseca, 2000).

Da mesma forma que as tensões residuais, a qualidade da superfície dos componentes usinados, caracterizada pela rugosidade média (R_a), apresenta um efeito considerável na vida em fadiga do material usinado. Diante desse fato, houve uma demanda para o desenvolvimento de novas geometrias de ferramenta de corte, como por exemplo, os insertos *wiper*, que resultem em melhores acabamentos superficiais, ou seja, de modo a reduzir o valor de R_a nos componentes. Devido à sua geometria multi-radial, os insertos *wiper* têm uma área maior de contato com a peça do que insertos convencionais, proporcionando acabamento mais suave na superfície usinada (D'addona & Raykar, 2016).

O presente trabalho analisa o comportamento das tensões residuais e a qualidade superficial geradas no torneamento do aço SAE1050 com diferentes condições de corte, utilizando ferramenta *wiper* e convencional, além de diferentes modos de aplicação de fluido de corte, tais como jorro e MQL (*minimum quantity lubrication*), determinando a influência de cada parâmetro na qualidade final das amostras torneadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi estudado o aço SAE 1050, produzido na forma de barra cilíndrica. A composição química e as propriedades do material, fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1050 (% em peso).

C	Mn	Si	P	S	Fe
0,50	0,75	0,25	0,01	0,025	Balanço

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1050.

Tensão limite de escoamento (MPa)	Tensão limite de resistência (MPa)	Alongamento (%)
415	725	40

Inicialmente, barras do aço SAE 1050 foram pré-usinadas para obtenção de amostras com comprimento total de 125 mm, diâmetro de 50 mm e três regiões de 30 mm, conforme Fig. 1. Após a pré-usinagem das amostras, elas foram tratadas termicamente a 650°C por 2 horas e resfriadas no forno a fim de aliviar as tensões residuais pré-existentes. Em cada comprimento de 30 mm foram empregadas diferentes condições de corte e uma única velocidade de corte

(Vc) de 390 m/min para todas elas, conforme apresentado na Tabela 3. As amostras foram usinadas em um torno convencional *Mascote Nardini*, usando insertos de metal duro convencional e *wiper*, modelo TNMG 160404FN KCP05 e TNMG 160404FW KCP10 respectivamente, com ângulo de incidência de 0° e recobrimento MTCVD – TiCN-Al₂O₃. Cada condição de usinagem foi realizada com uma aresta de corte nova. Foi utilizado fluido de corte emulsionável Quimatic, para ambas as formas de aplicação: jorro e MQL.

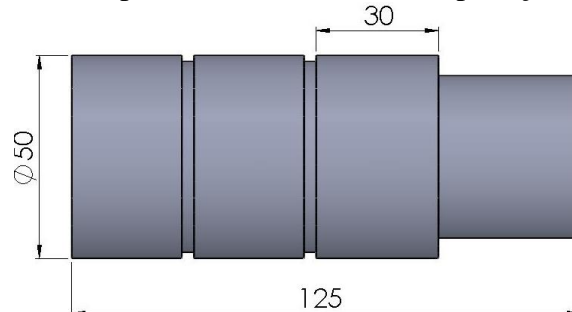


Figura 1 – Amostra preparada para usinagem (Unidade: mm).

Tabela 3 – Condições de corte utilizadas.

Amostras	Insertos de Metal Duro	Aplicação de fluido de corte	Avanço - f (mm/rev)	Profundidade de corte - a_p (mm)
A	Convencional	Jorro (2,5 L/min)	0,053	0,4
B	<i>Wiper</i>			
C	Convencional	MQL (100 mL/h)		
D	<i>Wiper</i>			
E	Convencional	Jorro (2,5 L/min)	0,15	0,4
F	<i>Wiper</i>			
G	Convencional	MQL (100 mL/h)		
H	<i>Wiper</i>			
I	Convencional	Jorro (2,5 L/min)	0,053	1,2
J	<i>Wiper</i>			
K	Convencional	MQL (100 mL/h)		
L	<i>Wiper</i>			
M	Convencional	Jorro (2,5 L/min)	0,15	1,2
N	<i>Wiper</i>			
O	Convencional	MQL (100 mL/h)		
P	<i>Wiper</i>			

As tensões residuais foram medidas por difração de raios-X usando um analisador de tensões *Xstress 3000* (Fig. 2a), pelo método do $\text{sen}^2\psi$, com radiação $\text{CrK}\alpha$ ($\lambda = 2,29092 \text{ \AA}$), difratando o plano (211) da ferrita. A Fig. 2b apresenta os locais e pontos onde as tensões residuais superficiais foram medidas, nas direções longitudinal (L) e tangencial (T) ao sentido do avanço da ferramenta de corte.

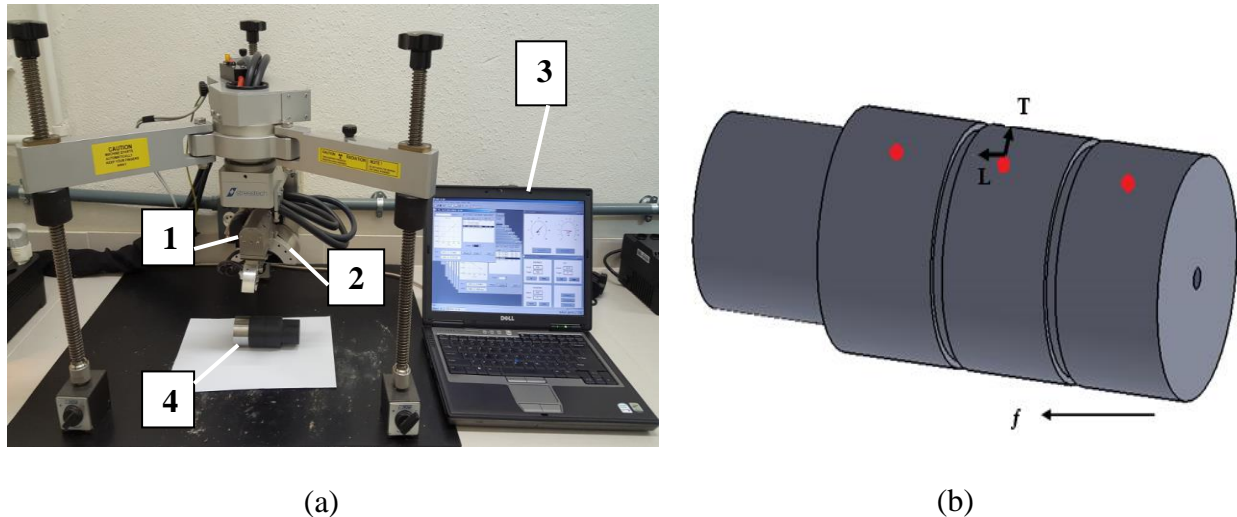


Figura 2 - (a) Analisador de tensões (1- Tubo de raios-X; 2- Goniômetro; 3- Software; 4-Amostra analisada); (b) Locais e direções de medição das tensões residuais nas amostras.

A rugosidade das amostras foi medida por um rugosímetro da marca *Taylor Hobson* Brasil, modelo *Surtronic25*, cedido pelo LMDC/UFF. A análise da rugosidade média (R_a) foi realizada em dez regiões distintas de cada amostra no sentido de avanço da ferramenta de corte, conforme exibido na Fig. 3.



Figura 3 – Medição da rugosidade média das amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e o erro associado a cada medida das tensões residuais (T_R) superficiais nas direções longitudinal (L) e tangencial (T), por difração de raios-X, são apresentados na Tabela 4.

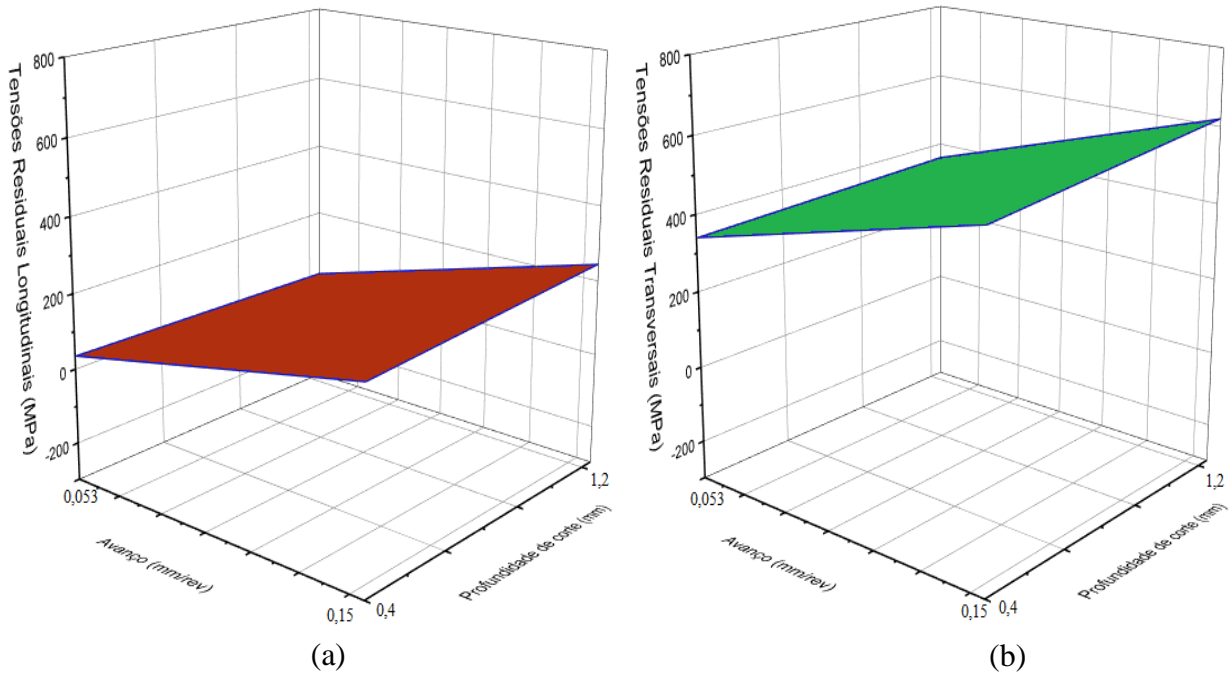
Tabela 4 – Tensões residuais superficiais.

Amostras	Tensões Residuais (MPa)		Amostras	Tensões Residuais (MPa)	
	L	T		L	T
A	35 ±3	340 ±13	I	15 ±2	360 ±9
B	-30 ±4	390 ±15	J	100 ±5	415 ±3
C	30 ±2	305 ±22	K	90 ±9	490 ±4
D	-50 ±1	360 ±4	L	-45 ±3	510 ±9
E	215 ±1	560 ±5	M	245 ±4	620 ±7
F	180 ±3	650 ±7	N	210 ±6	680 ±4
G	300 ±2	575 ±12	O	290 ±6	630 ±9
H	315 ±15	700 ±15	P	350 ±12	710 ±2

A partir dos valores mostrados na Tabela 4, foram gerados gráficos, através do *software OriginPro 8*, possibilitando uma análise qualitativa do comportamento das tensões residuais nas diferentes condições de corte. A Fig. 4 mostra a distribuição das tensões residuais no

sentido longitudinal e transversal para a combinação de todas as condições de corte empregadas.

Inserto convencional + jorro



Inserto wiper + jorro

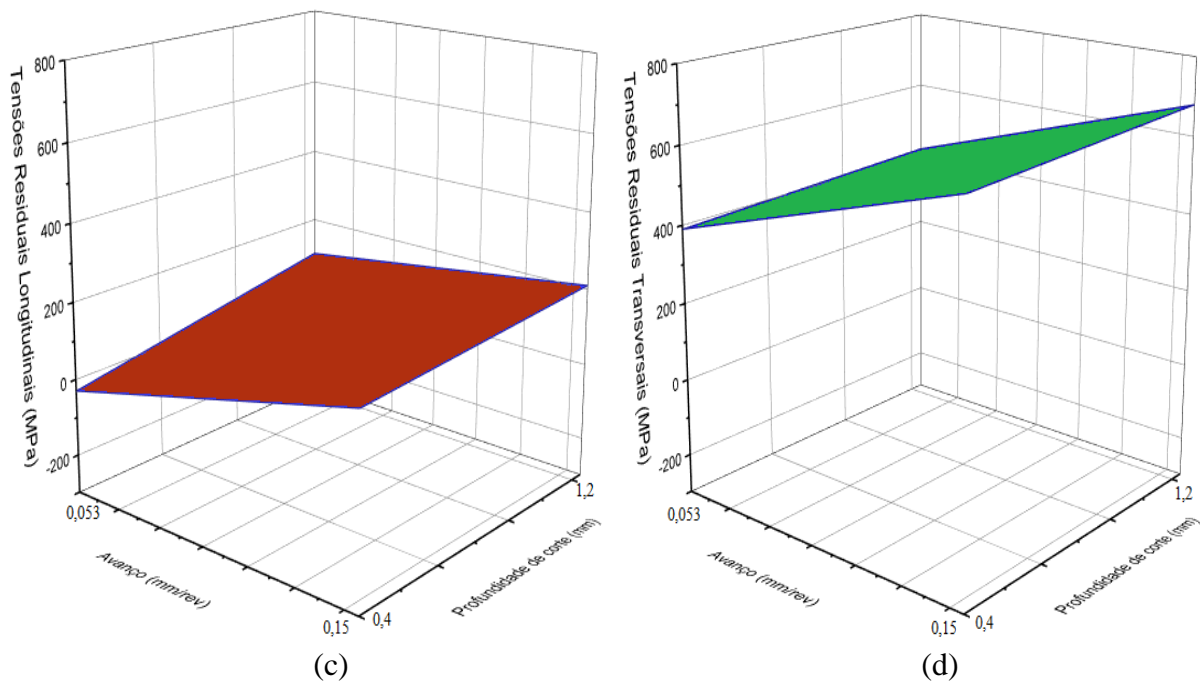
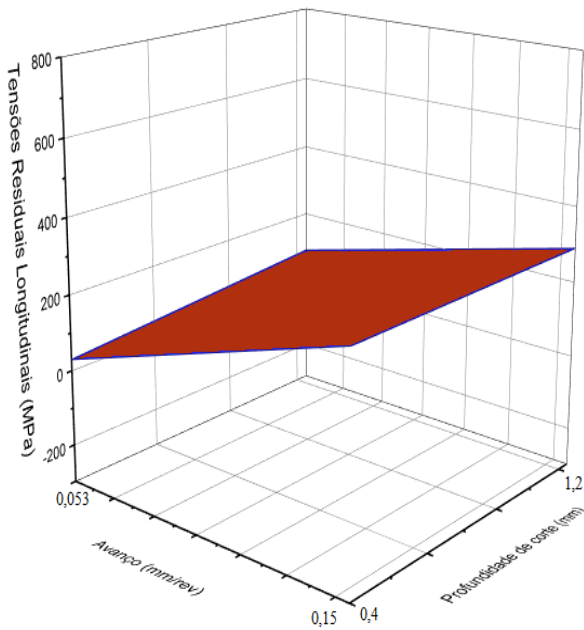
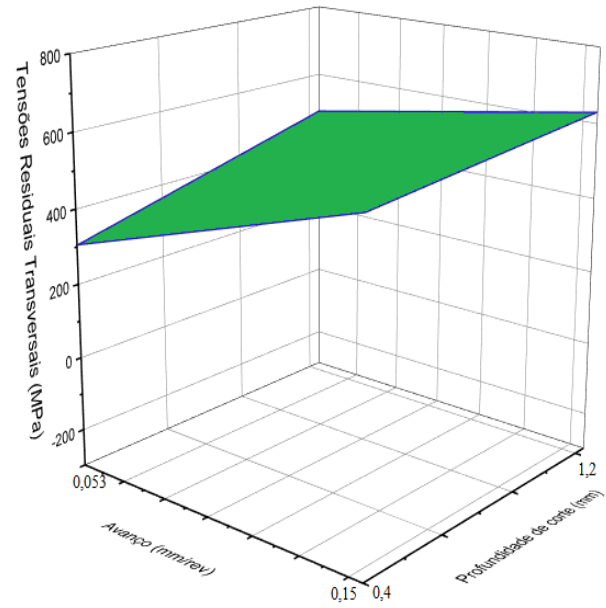


Figura 4 – Distribuição das tensões residuais: (a) longitudinais com inserto convencional + jorro, (b) transversais com inserto convencional + jorro, (c) longitudinais com inserto wiper + jorro, (d) transversais com inserto wiper + jorro.

Inserto convencional + MQL

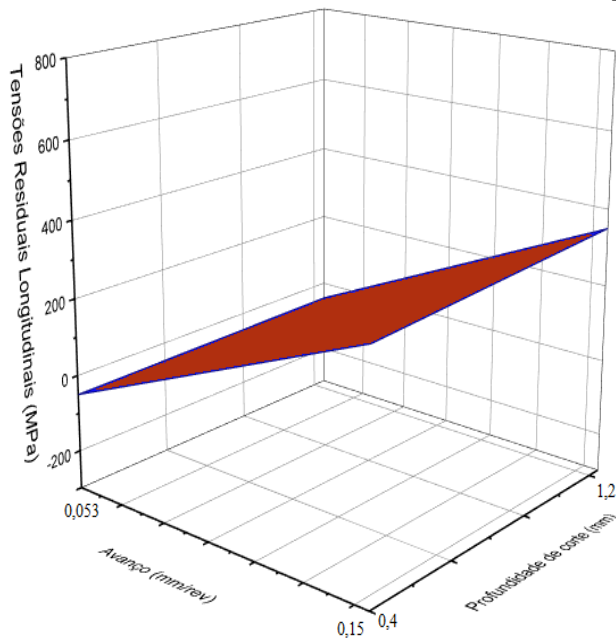


(a)

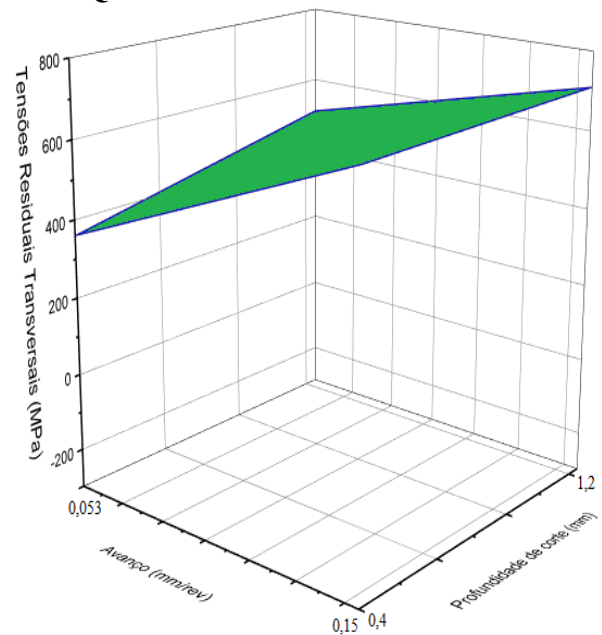


(b)

Inserto *wiper* + MQL



(c)



(d)

Figura 5 – Distribuição das tensões residuais: (a) longitudinais com inserto convencional + MQL, (b) transversais com inserto convencional + MQL, (c) longitudinais com inserto *wiper* + MQL, (d) transversais com inserto *wiper* + MQL.

Os resultados mostram que a magnitude das tensões residuais no torneamento elevaram-se com o aumento do avanço, sendo compatível com os trabalhos de Coto *et al.* (2011) e Nasr (2015). Em relação à geometria da ferramenta de corte, verificou-se que os insertos *wiper* geraram tensões residuais um pouco mais elevadas em relação aos insertos convencionais para as mesmas condições de corte. Os resultados mostraram que as amostras usinadas com MQL apresentaram tensões residuais um pouco mais elevadas do que àquelas que utilizaram jorro, o que está coerente com o trabalho de Lepert & Peng (2012), no qual esse comportamento se repete para amostras usinadas com velocidades de corte superiores a 255 m/min. Verificou-se também que a variação da profundidade de corte não influenciou de maneira significativa a magnitude das tensões residuais encontradas, o que está coerente com os trabalhos de Capello (2004) e Navas *et al.* (2012).

É possível perceber que o maior valor de tensão residual encontrado (710 MPa), de natureza trativa, ocorreu na direção transversal. Esse valor é correspondente à configuração de corte mais severa adotada no trabalho, ou seja, com avanço (0,15 mm/rev) e profundidade de corte (1,2 mm) elevados, utilizando inserto *wiper* e MQL como modo de aplicação de fluido de corte. Já o menor valor de tensão residual, compressiva de -50 MPa, foi gerado na direção longitudinal, empregando baixos valores de avanço (0,053 mm/rev) e profundidade de corte (0,4 mm), empregando inserto *wiper* e MQL. Em todas as condições de corte as tensões residuais transversais apresentaram maiores magnitudes em relação às tensões residuais longitudinais, o que pode também ser observado no trabalho de Huang & Yang (2016).

Os resultados da influência dos parâmetros de corte no acabamento superficial das amostras usinadas, caracterizados pela rugosidade média (R_a) obtida em todas as amostras, são apresentados na Tabela 5 e Fig. 6.

Tabela 5 – Rugosidade Média (R_a).

Amostras	R_a (μm)	Amostras	R_a (μm)
A	0,42	I	0,44
B	0,60	J	0,94
C	0,48	K	0,62
D	0,68	L	1,06
E	1,50	M	1,52
F	0,54	N	0,70
G	1,34	O	1,48
H	0,44	P	0,56

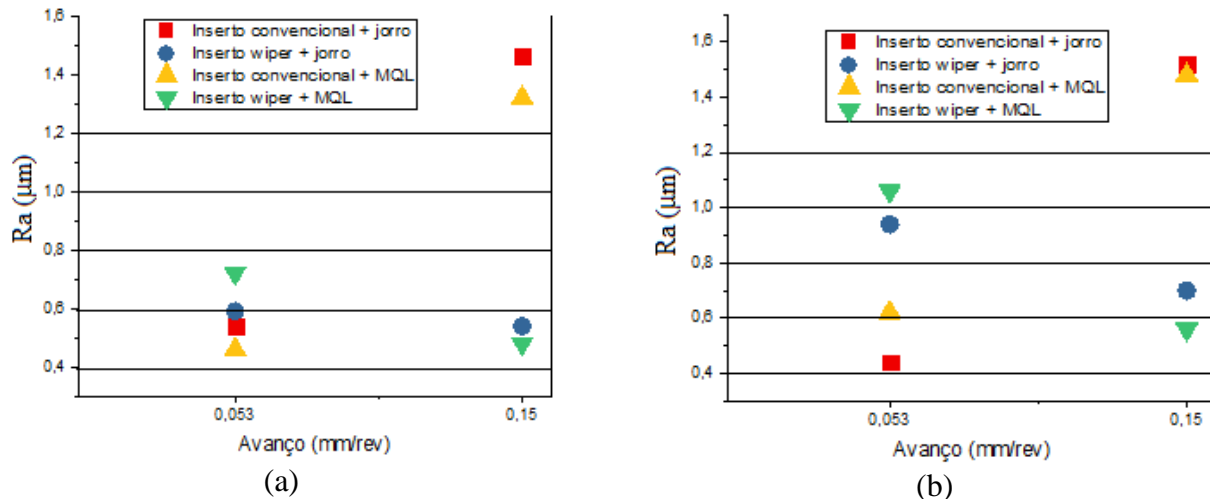


Figura 6 – Distribuição de Ra: (a) para $a_p = 0,4$ mm. (b) para $a_p = 1,2$ mm.

É possível perceber que o aumento do avanço, quando utilizados insertsos convencionais, resulta em um aumento significativo da rugosidade. Porém, quando emprega-se o inserto *wiper* com valor elevado de avanço (0,15 mm/rev), o acabamento superficial é melhorado, visto que as amostras F e H, usinadas com $a_p = 0,4$ mm e inserto *wiper*, apresentaram 0,54 μm e 0,44 μm como valores de Ra, respectivamente, enquanto as amostras E e G, que foram usinadas com inserto convencional, apresentaram valores de Ra de 1,50 μm e 1,34 μm , respectivamente; pode-se perceber que esse comportamento também se repete nas amostras usinadas com avanço elevado e $a_p = 1,2$ mm, já que as amostras N e P, usinadas com inserto *wiper* obtiveram valores para Ra de 0,70 μm e 0,56 μm , respectivamente, por outro lado, as amostras M e O, usinadas com inserto convencional, obtiveram valores de Ra iguais a 1,52 μm e 1,48 μm , respectivamente.

Pela análise dos resultados fica evidente que o emprego dos insertsos *wiper* é vantajoso em relação aos insertsos convencionais quando usados avanços mais elevados, pois não há diferença significativa de acabamento superficial fornecido pelos insertsos convencionais e *wiper* com menores avanços (0,053 mm/rev). Este resultado é corroborado pelos trabalhos de Correia & Davim (2011) e Xiao *et al.* (2016). O aumento da profundidade de corte não representou grandes diferenças nos valores obtidos para os insertsos convencionais e *wiper*. O emprego de maior profundidade de corte resultou em um acabamento superficial um pouco inferior ao menor valor de profundidade quando foram mantidos constante o avanço e o modo de aplicação de fluido de corte. A aplicação por MQL, nas amostras usinadas com avanço elevado, resultou em um acabamento superficial um pouco melhor do que as amostras usinadas com jorro. Esses resultados estão coerentes com Sarikaya & Güllü (2014). Os melhores acabamentos superficiais foram obtidos nas amostras A (inserto convencional + jorro + $f = 0,053$ mm/rev + $a_p = 0,4$ mm), I (inserto convencional + jorro + $f = 0,053$ mm/rev + $a_p = 1,2$ mm) e (inserto *wiper* + MQL + $f = 0,15$ mm/rev + $a_p = 0,4$ mm), que obtiveram valores de Ra iguais a 0,42 μm , 0,44 μm e 0,44 μm , respectivamente. A amostra M (inserto convencional + jorro + $f = 0,15$ mm/rev + $a_p = 1,2$ mm) apresentou o maior valor de Ra, que foi igual a 1,52 μm .

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho, que teve por objetivo estudar a influência dos parâmetros de corte e modos de aplicação de fluidos de corte na geração das tensões residuais e na rugosidade no torneamento do aço SAE1050, permite as seguintes conclusões:

1. O torneamento gerou tensões residuais rativas em quase todas as condições estudadas, apresentando tensões residuais compressivas apenas quando foi empregado o menor valor de avanço, de 0,053 mm/rev.
2. Com o uso de maior avanço tensões residuais trativas mais elevadas foram geradas em ambas as direções, podendo este ser considerado o parâmetro mais importante para o controle das tensões residuais no torneamento.
3. O tipo de inserto, o modo de aplicação de fluido de corte e a profundidade de corte não influenciaram significativamente nos resultados das tensões residuais.
4. O avanço mais elevado representou valores de rugosidade maiores quando foram usados insertos convencionais, porém o emprego de inserto *wiper* associado com avanço elevado, provocou melhoria substancial do acabamento superficial.
5. Não houve grandes diferenças entre os acabamentos superficiais gerados pelos insertos convencionais e *wiper* quando empregados menores avanços.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERJ pelo suporte financeiro, que permitiu a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Callister, W.D. (2007) “Materials Science and Engineering: An introduction”, 7ª edição, John Wiley e Sons, pp. 261.
- Capello, E. (2004) Residual Stresses in turning Part I: Influence of process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 221-228.
- Cindra Fonseca, M. P. Evolução do estado de tensões residuais em juntas soldadas de tubulação durante ciclos de fadiga. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Correia, A.E.; & Davim, J.P. (2011), Surface roughness measurement in turning carbon steel AISI 1045 using wiper inserts. *Journal of Measurement*, 44, 1000-1005
- Coto, B.; Navas, V.G.; Gonzalo, O.; Aranzabe, A.; Sanz, C (2011). Influences of turning parameters in surface residual stresses in AISI 4340 steel. *Int J Adv Manuf Technol*, 53, 911-919.
- D’Addona, D.M., & Raykar, S.J. (2016), Analysis of surface roughness in hard turning using wiper geometry. 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems, 41,841-846.
- El-Axir, M.H.; Elkhabeery, M.M.; Okasha, M.M (2017), Modeling and Parameter Optimization for Surface Roughness and Residual Stress in Dry Turning Process. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol 7, 2047-2055.
- Huang, K., & Yang, Wenyu (2016), Analytical modeling of residual stress formation in workpiece material due to cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, 114, 21-34.
- Leppert, T., & Peng, R.L. (2012), Residual stresses in surface layer after dry and MQL turning of AISI 316L steel. *Production Process*, 6, 367-374
- Nasr, M.N.A. (2015) Effect of Sequential Cuts on Residual Stresses when Orthogonal Cutting Steel AISI 1045. 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations, 31, 118-123.
- Navas, V. G., Gonzalo, O., & Bengoetxea (2012), Effect of Cutting Parameters in the Surface Residual Stresses generated by turning in AISI 4340 steel. *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, 61, 48-57

- Nobre, J.P., & Outeiro, J.C. (2015), Evaluating Residual Stresses Induced by Drilling of Ti-6Al-4V Alloy by Using an Experimental –Numerical Methodology. 15th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. 215-220.
- Sarikaya, M., & Güllü, A., (2014), Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. Journal of Cleaner Production, 65, 604-616
- Xiao, Z.; Liao, X.; Long, Z.; Li, M., (2016), Effect of cutting parameters on surface roughness using orthogonal array in hard turning of AISI 1045 steel with YT5 tool. Int J Adv Manuf Technol, 93, 273-282.

STUDY OF THE RESIDUAL STRESSES AND SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF SAE 1050 STEEL USING CONVENTIONAL AND WIPER CUTTING TOOLS

Abstract. *Tool steels are used in the manufacture of dies, tools, and structural components in areas of metal-mechanical industry. In the manufacture of these products, the machining processes are widely used, among which stand out the turning. Like all manufacturing processes, turning introduces residual stresses into fabricated components. Depending on the nature, distribution and magnitude, residual stresses may be beneficial or deleterious to parts in service, especially to fatigue resistance and stress corrosion, which justify the study of their behavior after turning. The quality of surface finish, characterized by the surface roughness, has great influence on the fatigue life of machined materials, as well as residual stresses. In this work, the behavior of residual stresses and surface roughness generated in the turning of SAE 1050 steel, utilizing cutting tool with different geometries and different cutting conditions were studied. The residual stresses were measured by X-ray diffraction using the $\sin^2\psi$ method. The results indicated that residual stresses with larger magnitudes were showed in the transverse direction in all samples. It has been noted that a better surface finish can be obtained by employing wiper cutting tools with higher feed rates.*

Keywords: *turning, residual stresses, X-ray diffraction, surface roughness, SAE 1050 steel.*