

## **MODELAGEM DA RUGOSIDADE (Ra, Rt, Rz, Rq e Ry) NO TORNEAMENTO DO AÇO ABNT 52100 ENDURECIDO UTILIZANDO CERÂMICA MISTA COM GEOMETRIA WIPER**

**COF 11-0330**

***Resumo:** No estudo da vida de ferramentas e da rugosidade média das superfícies usinadas, pelo processo de torneamento, verifica-se a influência de vários fatores de processo, como por exemplo, a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de usinagem. Na análise convencional da influência destes fatores num processo de usinagem, geralmente é estudada a influência de cada um deles isoladamente. É neste contexto que surge a metodologia de projetos de experimentos (DOE), que é um conjunto de técnicas estatísticas que permite a análise de vários fatores de influência de um processo de maneira simultânea. Esta abordagem de cunho estatístico consiste em planejar experimentos capazes de gerar dados apropriados para uma eficaz análise, o que resulta em conclusões válidas e objetivas. Este trabalho trata especificamente do modelamento de diversos parâmetros de rugosidade da peça (Ra, Rt, Rz, Rq e Ry) no processo de torneamento do aço ABNT 52100 endurecido (50 HRC) com ferramenta de cerâmica mista revestida com nitreto de titânio utilizando geometria wiper (alisadora). Os modelos serão obtidos pela metodologia de projeto de experimento (DOE) tendo como variáveis de influência os parâmetros velocidade de corte, taxa de avanço e a profundidade de usinagem.*

*Palavras-chave:* Modelamento da rugosidade, Torneamento duro, Aço ABNT 52100, Cerâmica com geometria Wiper, DOE.

### **1. INTRODUÇÃO**

O torneamento de materiais duros vem sendo cada vez mais utilizado ao longo dos últimos anos, devido ao crescente aumento da demanda de produção e à necessidade de redução dos custos de fabricação, oriundos da exigência cada vez maior das novas tecnologias empregadas nos processos industriais. Hoje, devido ao desenvolvimento de materiais para ferramentas de elevada dureza e resistência ao desgaste em altas temperaturas, aliados ao surgimento de máquinas ferramentas de maiores rigidez e precisão dimensional em altas rotações, é possível a usinagem destes materiais pelo processo de torneamento. Segundo Sales (2004), é possível obter-se em tornos CNC, rugosidades de 0,2 a 0,3  $\mu\text{m}$ , que correspondem às obtidas nos processos de retificação. A substituição do processo de retificação pelo torneamento duro, traz inúmeras vantagens, dentre as quais podem ser citadas: a possibilidade de trabalhar sem fluido de corte, a eliminação de etapas no processo de fabricação, maior produtividade, baixo consumo de energia por volume de material usinado, e etc.

No estudo da vida de ferramentas e da rugosidade média das superfícies usinadas, pelo processo de torneamento, verifica-se a influência de vários fatores de processo, como por exemplo, a velocidade de corte, a taxa de avanço e a profundidade de usinagem. Na análise convencional da influência destes fatores num processo de usinagem, geralmente é estudada a influência de cada um deles isoladamente, o que demanda um grande número de ensaios, elevado consumo de material de usinagem e ferramentas, além da necessidade de utilização de muitas horas-máquina, o que em geral torna os custos com a experimentação proibitivos. Dentro deste aspecto, a preocupação em atuar simultaneamente sobre a qualidade e o custo de cada processo obriga as empresas a usarem técnicas não triviais de planejamento e melhoria da qualidade. Para atingir tais objetivos muitos processos tem utilizado a modelagem experimental. Modelos matemáticos podem ser construídos a partir da observação e experimentação planejadas. Esta estratégia observacional é conhecida como Metodologia de Projeto de Experimentos (DOE, do inglês *Design of Experiments*), que consiste em planejar

experimentos capazes de gerar dados apropriados para uma eficaz análise estatística, o que resulta em conclusões válidas e objetivas (Montgomery, 2001).

Diversos pesquisadores têm empregado esta metodologia para o estudo da usinabilidade dos materiais. Noordin et.al.(2004) aplicaram o DOE para descrever o desempenho de ferramentas de metal duro no torneamento de um aço ABNT 1045. Chouldhury e El-Baradie(1998) e Dhavlikar et. Al.(2003) Também empregam a abordagem para modelar a vida de ferramentas utilizadas no torneamento de aços de alta resistência. Alauddin et. al.(1997) realizaram um trabalho similar.Todos estes trabalhos objetivam a otimização de variáveis de resposta em processos de usinagem, obtidas a partir de uma pequena, porém, eficiente quantidade de experimentos.

Segundo Galdámez (2002), as técnicas experimentais são pouco difundidas nas empresas brasileiras, isto se deve a falta de conhecimento estatístico, que comumente os gerentes, funcionários e engenheiros enfrentam ao usar tais ferramentas. Com a inovação das ferramentas de geometrias alisadoras (wiper), tornou-se possível atingir um acabamento de alta qualidade em operações de torneamento quando comparadas com ferramentas convencionais. Para alguns casos, o acabamento também pode se manter para avanços de duas a quatro vezes maiores do que os comuns, conduzindo a um aumento da produtividade. Quando as informações dos experimentos são analisadas estatisticamente, garante-se que o produto será projetado com robustez às variações decorrentes do próprio processo de fabricação, meio ambiente e usuário. Ainda, a análise estatística é importante porque uma pequena diferença entre as especificações técnicas de um produto, ou nos níveis de ajustagem dos fatores de controle de um processo de fabricação, pode significar o ganho ou perda de tempo de produção, ferramentas de usinagem e qualidade do produto, o que se converte em grandes ganhos ou perdas econômicas para a empresa.

Diante de tais considerações o objetivo principal deste trabalho experimental trata especificamente do modelamento de diversos parâmetros de rugosidade da peça ( $R_a, R_t, R_z, R_q$  e  $R_y$ ) no processo de torneamento do aço ABNT 52100 endurecido (50 HRC) com ferramenta de cerâmica mista revestida com nitreto de titânio utilizando geometria wiper (alisadora).

## 2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Desenvolvido entre 1920 e 1930 por Fisher, sendo posteriormente incrementada por importantes pesquisadores na área de estatística como Box, Hunter (1978) e Taguchi (1986), entre outros (Prvan E Street, 2002), o Projeto de Experimentos (DOE) é uma técnica relativamente antiga. Depois da segunda guerra mundial, o DOE foi introduzido na indústria química e nos processos industriais de empresas nos Estados Unidos e Europa. O interesse crescente pelo DOE ocorreu também no Brasil e no resto do mundo. Atualmente as empresas aumentam em muito a sua produtividade com a utilização desta ferramenta.

De acordo com Montgomery (2004), a Metodologia de Projeto de Experimentos (DOE) consiste no uso de técnicas estatísticas capazes de gerar dados apropriados para uma análise estatística que resulte em conclusões válidas e objetivas. Consiste na execução de experimentos nos quais fatores de um processo sob análise são variados simultaneamente, com o objetivo de medir seus efeitos sobre a variável (ou variáveis) de saída de tal processo. Fatoriais completos correspondem a uma técnica do DOE na qual todas as possíveis combinações de níveis dos fatores experimentais são exercitadas, de modo a cobrir todo o espaço experimental. O número de corridas é igual ao número de níveis elevado ao número de fatores. Para experimentos fatoriais em dois níveis, o número total de corridas  $N$  necessárias para avaliar o efeito de  $k$  fatores é dado por  $N = 2^k$ . Na metodologia DOE, o teste empregado para avaliar a significância dos efeitos das mudanças nos níveis dos fatores ou dos efeitos das interações entre níveis sobre a saída do processo é um teste de hipótese para médias. Na técnica do fatorial completo, o teste utilizado é a análise de variância, ou ANOVA (Montgomery, 2004). Neste trabalho, a metodologia foi utilizada como ferramenta de projeto para obtenção da modelagem da rugosidade. Ainda que não haja um modelo teórico único que torne possível a predição da rugosidade, a literatura aponta no sentido de que os parâmetros de corte são determinantes na predição (Shaw, 2004; Trent e Wright, 2000). Cus e Zuperl (2006) sugeriram modelos empíricos lineares e exponenciais para a rugosidade da peça como função da velocidade de corte ( $V_c$ ), avanço ( $f$ ) e profundidade de usinagem ( $ap$ ).

A função polinomial de primeira ordem desenvolvida para uma Metodologia de Projeto de experimento que relaciona uma dada resposta  $y$  com  $k$  variáveis de entrada apresenta o seguinte formato descrito pela Eq. (1) (MONTGOMERY, 2005):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \quad (1)$$

Onde:  $y$  é a resposta de interesse,  $x_i$  parâmetros de entrada,  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$  são coeficientes a serem estimados e  $k$  número de parâmetros de entrada considerados.

## 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 3.1 Máquina, ferramentas, materiais e Instrumentos de Medição

Para o processo de torneamento desenvolvido neste trabalho utilizou-se um Torno CNC Nardini Logic 175, com potência máxima de eixo de 7,5 CV; rotação máxima de 4000 rpm; torre com oito posições e torque máximo de 200 Kgf.m.

Os insertos são de cerâmica mista ( $Al_2O_3 + TiC$ ), fabricante Sandvik, classe GC 6050, recoberta com nitreto de titânio (TiN), com geometria alisadora ISO CNGA 120408 S01525WH. O suporte da ferramenta tem Modelo ISO DCLNL 1616H12; Ângulo de posição de  $95^\circ$ , ângulo de saída de  $-6^\circ$ , ângulo de inclinação de  $-6^\circ$  e ângulo de folga de  $7^\circ$ . A Figura (1) apresenta os raios alisadores da geometria da ponta da ferramenta e o seu efeito combinado com o avanço na rugosidade da peça usinada.

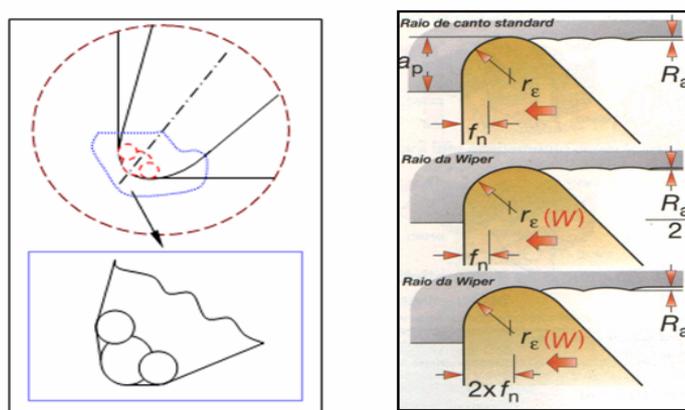


Figura 1. Geometria do raio de ponta para ferramentas alisadora (Sandvik, 2010).

Os corpos de prova utilizados nos ensaios têm dimensões de 49 mm de diâmetro e 50 mm de comprimento, sendo de Aço ABNT 52100. A Dureza elevada é alcançada neste aço pelo processo de têmpera por indução. Este material geralmente é tratado a uma temperatura de  $850^\circ C$  seguido de têmpera em óleo e, em seguida, revenido na faixa de  $180-250^\circ C$ . Isso resulta em uma microestrutura de martensita com até 5% de austenita retida. A dureza do aço ABNT 52100 chegou a 50 HRC. Este aço possui a seguinte composição química de acordo com a Tab. (1):

Tabela 1. Composição do Aço ABNT 52100

Composição Química do Aço ABNT 52100 (% em peso)								
Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	S	P
Teor (%)	1,03	0,23	0,35	1,4	0,04	0,11	0,001	0,01

Para as medições necessárias, utilizou-se um Rugosímetro modelo Mitutoyo, SJ 201. O desgaste da ferramenta foi monitorado utilizando-se um microscópio óptico Olympus SZ 61 com câmera digital.

### 3.2 Metodologia de ensaios

Nos ensaios realizados foram adotados dois níveis de variação para cada um dos parâmetros de usinagem estudados. A Tabela (2) apresenta os três fatores: velocidade corte, avanço, profundidade de usinagem e seus respectivos níveis de variação. Os níveis foram especificados em função de dados recomendados pelo catálogo do fabricante das ferramentas (Sandvik, 2010) e também foi elaborado um planejamento fatorial (três parâmetros e dois níveis) para a realização dos ensaios.

Tabela 2. Parâmetros de usinagem utilizados.

Parâmetros do processo	Símbolo	Unidade	Níveis dos fatores			
			-1	0	+1	
Velocidade de Corte	$V_c$	m/min	200	220	240	
Avanço	f	mm/rev	0,20	0,30	0,40	
Profundidade de corte	ap	mm	0,150	0,225	0,300	

Os ensaios de torneamento foram dimensionados de forma a proporcionar uma maneira precisa de se estudar a influência da velocidade de corte, avanço e profundidade de usinagem na rugosidade ( $R_a$ ,  $R_t$ ,  $R_z$ ,  $R_q$  e  $R_y$ ) da peça usinada, através da aplicação da metodologia de projeto de experimentos (DOE).

Foi adotado como critério de troca de ferramenta, principalmente valores de rugosidade ( $R_a < 0,5$ )  $\mu\text{m}$  e desgaste de flanco  $VB \text{ max} < 0,3$  mm. Tal critério foi adotado em função do risco de quebra do inserto de cerâmica. A cada corpo de prova usinado, o mesmo era retirado da máquina para medição das rugosidades. Neste momento o inserto também era retirado do suporte para monitoramento do desgaste de flanco ( $VB \text{ max}$ ). As medições de rugosidade foram realizadas sempre quatro vezes nos pontos (A, B, e C), conforme esquema ilustrado na Figura (2); após as medições de rugosidade foi realizada a média aritmética dos valores de rugosidade.

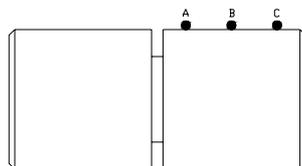


Figura 2. Posições de leitura da rugosidade nos corpos de prova.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz experimental do projeto fatorial completo com cinco pontos centrais e os resultados da rugosidade  $R_a$  e  $R_t$  são mostradas na Tab. (3). Observa-se que os parâmetros de rugosidades  $R_a$  e  $R_t$  obtidos nos ensaios para o aço ABNT 52100 foram relativamente baixos, visto que o avanço ( $f$ ) variou de 0,2 a 0,4 mm/v. A rugosidade média  $R_a$  ficou na faixa de 0,15-0,5  $\mu\text{m}$  e a rugosidade máxima  $R_t$  ficou na faixa de 1-2,7  $\mu\text{m}$ . Justifica-se estes resultados pelo efeito alisador da geometria de corte da ferramenta de cerâmica e pela alta dureza da peça na faixa de 50HRC. Cabe salientar que o torno CNC utilizado é de pequeno porte e não apresenta grande rigidez.

Tabela 3. Fatorial completo  $2^3$  com 5 pontos centrais para as respostas de rugosidades ( $R_a$  e  $R_t$ )

Nº	$V_c$ (m/min)	$f$ (mm/v)	$a_p$ (mm)	A	B	C	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_t$ ( $\mu\text{m}$ )
1	200	0,2	0,15	-1	-1	-1	0,153	0,99
2	240	0,2	0,15	1	-1	-1	0,219	1,161
3	200	0,4	0,15	-1	1	-1	0,388	2,669
4	240	0,4	0,15	1	1	-1	0,382	2,423
5	200	0,2	0,3	-1	-1	1	0,177	1,167
6	240	0,2	0,3	1	-1	1	0,173	1,132
7	200	0,4	0,3	-1	1	1	0,357	2,392
8	240	0,4	0,3	1	1	1	0,412	2,727
9	220	0,3	0,225	0	0	0	0,298	2,047
10	220	0,3	0,225	0	0	0	0,294	2,192
11	220	0,3	0,225	0	0	0	0,308	1,703
12	220	0,3	0,225	0	0	0	0,290	1,919
13	220	0,3	0,225	0	0	0	0,322	1,976

A Fig. (3) mostra uma comparação dos efeitos principais das condições de corte, velocidade, avanço e profundidade de usinagem sobre as rugosidades  $R_a$  e  $R_t$ . Percebe-se que o efeito principal do avanço é relativamente superior ao da velocidade de corte e da profundidade de usinagem sobre os parâmetros de rugosidade  $R_a$  e  $R_t$ , sucessivamente. No entanto, cabe salientar a importância do estudo do efeito das interações das condições de corte sobre a rugosidade. A maior influência do avanço deve-se ao maior incremento de seus níveis 0,2-0,4 mm/v, o que provoca maior ondulação na superfície da peça. A influência negativa da velocidade de corte deve-se ao aumento da rotação e um possível

aumento da vibração do sistema máquina-ferramenta-peça. As baixas profundidades de usinagem (0,15-0,30 mm) utilizadas, devido à elevada dureza da peça apenas pouco influenciaram na rugosidade.

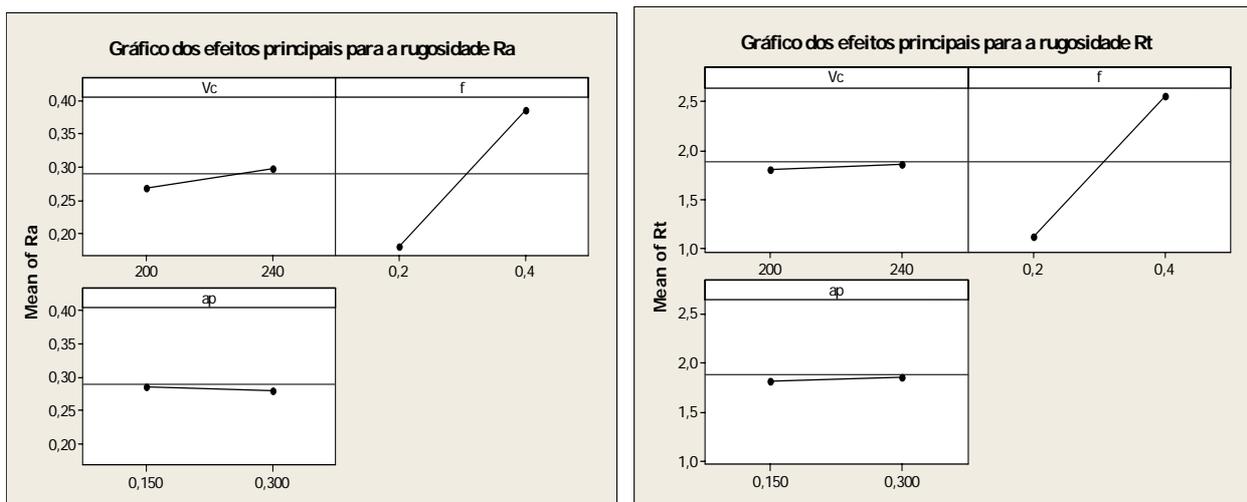


Figura 3. Eeitos principais da velocidade de corte, avanço e profundidade nas rugosidades (Ra, Rt).

A Figura (4) apresenta a análise fatorial para os efeitos principais e para as interações das condições de corte (velocidade corte, avanço e profundidade de usinagem) sobre os parâmetros de rugosidade média Ra e máxima Rt. Observa-se no diagrama de Pareto que para a rugosidade Ra, o avanço, a velocidade de corte e a interação entre velocidade-avanço-profundidade são significativas. Para a rugosidade Rt apenas o avanço foi o fator significativo.

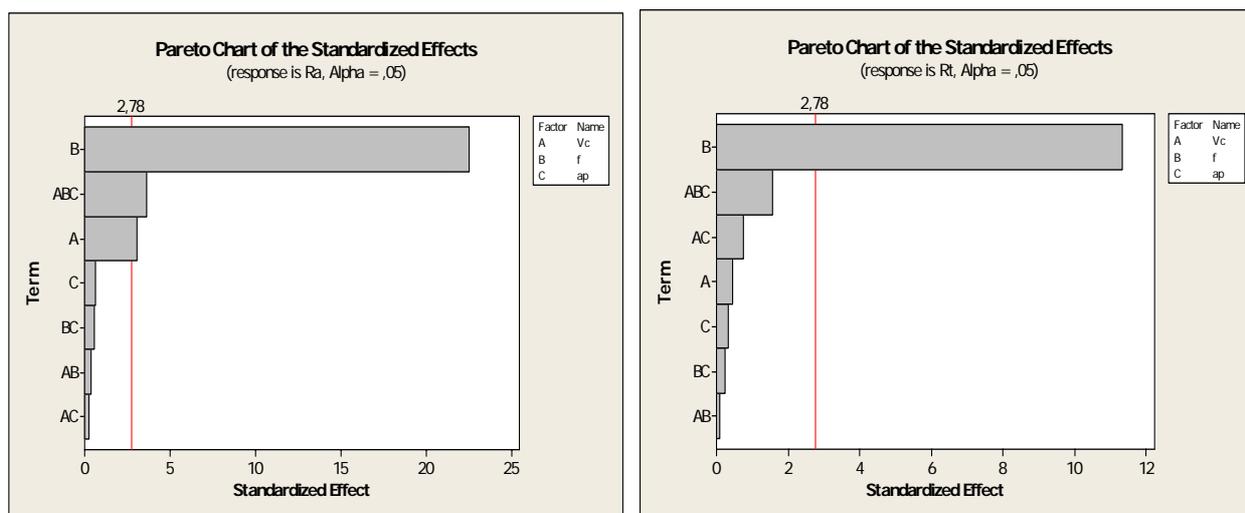


Figura 4. Análise dos efeitos padronizados da velocidade, avanço e profundidade sobre as rugosidades (Ra, Rt)

A Tabela (4) apresenta a análise de variância (ANOVA) para a rugosidade média Ra, onde se observa que os valores P são menores que 5% (nível de significância estatística) para o avanço, para a velocidade de corte e para interação tripla. Em função da ANOVA pode-se constatar que as três condições de corte influenciaram significativamente a rugosidade Ra, pelos seus efeitos principais ou por suas interações. Percebe-se que o modelo empírico obtido apresenta um excelente ajuste ( $R^2 \text{ adj} = 97,78\%$ ) considerando a implementação de todos os termos no modelo. A Eq. (2) apresenta o modelo matemático obtido, sendo que seus coeficientes levam em consideração as variáveis codificadas. A análise de variância mostrou um valor P significativo (0,054) para o teste de curvatura. Isto demonstra que os níveis experimentais escolhidos conduzem a uma resposta próxima à região de ótimo para a rugosidade Ra. De forma análoga foi realizada a análise de variância (ANOVA) para a rugosidade máxima Rt, onde obteve-se um modelo empírico com ajuste de ( $R^2 \text{ adj} = 91,28\%$ ), em que apenas o avanço apresentou influência significativa. No entanto, a Eq. (3) apresenta o modelo obtido pela análise do planejamento fatorial completo com todos os termos do modelo preservando o melhor ajuste.

Tabela 4. ANOVA para a resposta rugosidade média (Ra)

Termo	Efeito	Coef	SE coef	T	p
Constante		0,2826	0,0045	62,27	0,000
Vc	0,0277	0,0138	0,0045	3,06	0,038
f	0,2042	0,1021	0,0045	22,50	0,000
ap	-0,0057	-0,0028	0,0045	-0,63	0,561
Vc*f	-0,0032	-0,0016	0,0045	-0,36	0,738
Vc*ap	-0,0022	-0,0011	0,0045	-0,25	0,816
f*ap	0,0052	0,0026	0,0045	0,58	0,594
Vc*f*ap	0,0327	0,0163	0,0045	3,61	0,023
Ct Pt		0,0197	0,0073	2,70	0,054
	S= 0,0128	R-Sq= 99,26%	R-Sq (adj)= 97,78%		

Análise de variância para Ra						
Fonte	DF	SEQ SS	ADJ SS	MS	F	P
Efeitos	3	0,085	0,085	0,0283	172,01	0,000
Quadrático	3	0,000	0,0001	0,000	0,17	0,908
Interação	1	0,0021	0,0021	0,0021	13,02	0,023
Curvatura	1	0,0012	0,0012	0,0012	7,2	0,054
Residual Erro	4	0,000	0,000	0,000		
Erro puro	4	0,000	0,000	0,000		
Total	12	0,0891				

$$Ra = 0,2826 + 0,0138V_c + 0,1021f - 0,0028ap - 0,0016V_c * f - 0,0011 V_c * ap + 0,0026 f * ap + 0,0163 V_c * f * ap \quad (2)$$

$$Rt = 1,8326 + 0,0281V_c + 0,7201f + 0,0218ap - 0,0058V_c * f + 0,0468V_c * ap - 0,0151f * ap + 0,0983V_c * f * ap \quad (3)$$

Segundo Montgomery (2005) para que um modelo seja formulado adequadamente, os resíduos não devem ser correlacionados (independentes) e devem ser normalmente distribuídos. Neste trabalho verificou-se que os resíduos dos modelos obtidos para as rugosidades Ra e Rt apresentam distribuições normais. A Fig. (5) apresenta as retas de probabilidade normal dos resíduos dos modelos de rugosidades Ra e Rt. Observa-se que os pontos estão distribuídos sobre a reta e o valor P do teste de normalidade de Anderson Darling foi superior a 5%, pode-se concluir que os dados são normalmente distribuídos. Observou-se também que os resíduos apresentaram-se de forma independente e aleatória. Sendo assim pode-se constatar que os modelos encontrados foram satisfatórios.

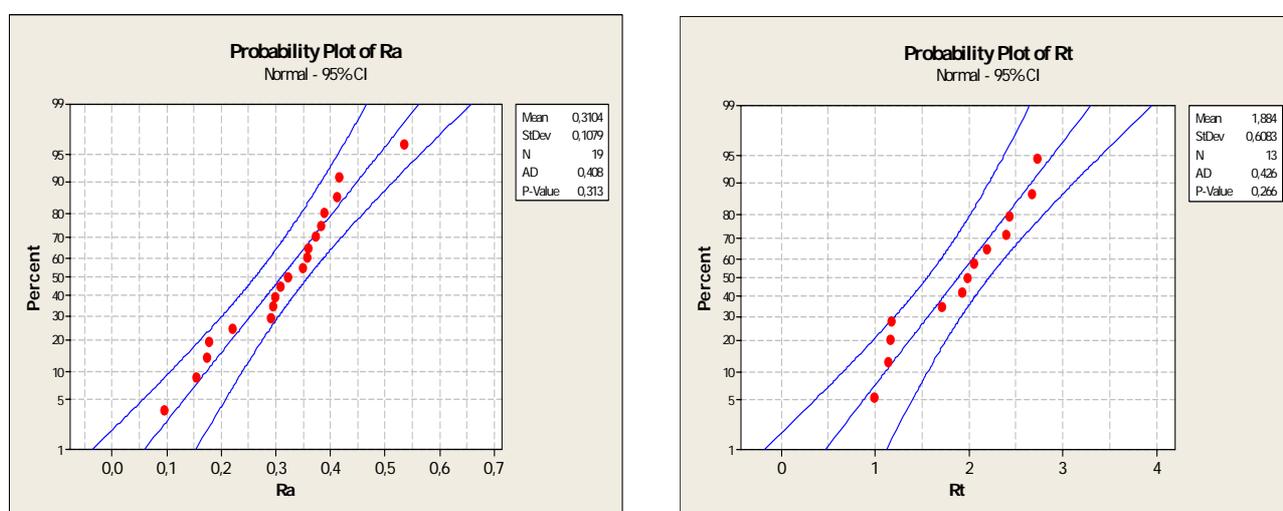


Figura 5. Análise de resíduos dos modelos das rugosidade média e máxima (Ra e Rt)

Os parâmetros de rugosidades Ry, Rz e Rq também foram medidos nos experimentos. De posse destes resultados foi realizada uma análise de correlação entre todos os parâmetros de rugosidade (Ra, Rt, Ry, Rz e Rq). A Tab. (5) apresenta esta análise onde observou-se que todos os parâmetros são correlacionados (valor  $P < 0,05$ ). Como também todos eles apresentam forte grau de correlação, ou seja o coeficiente de correlação de Pearson foi superior a 90%. Assim, optou-se por não apresentar os demais modelos de rugosidades Ry, Rz e Rq.

**Tabela 5. Correlação entre as rugosidades (Ra, Rt, Ry, Rz e Rq)**

Correlations: Ra; Ry; Rz; Rq; Rt				
	Ra	Ry	Rz	Rq
Ry	0,967			
	0,000			
Rz	0,964	0,987		
	0,000	0,000		
Rq	0,909	0,853		0,884
	0,000	0,000		0,000
Rt	0,967	0,996	0,977	0,828
	0,000		0,000	0,000
Cell Contents: Pearson correlation P-Value				

## 5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos sobre o torneamento do aço ABNT 52100 endurecido com ferramenta de cerâmica com geometria Wiper utilizando projeto de experimentos (DOE), pode-se concluir que:

- A geometria alisadora da ferramenta propiciou a obtenção de baixas rugosidades Ra na faixa 0,15-0,5  $\mu\text{m}$  com avanços relativamente altos (0,2-0,4 mm/v) e rugosidade Rt na faixa de 1-2,7  $\mu\text{m}$ ;
- O avanço foi o fator que mais influenciou na rugosidade Ra, seguido pela velocidade de corte e pela interação com a profundidade de usinagem, o que não pode ser descartado no processo;
- Os modelos completos obtidos apresentaram excelentes ajustes de explicação dos parâmetros de rugosidade Ra e Rt, o que demonstra que os fatores velocidade de corte e profundidade de usinagem tem parcela de influência nos parâmetros de rugosidade;
- A análise de variância indicou que os níveis das variáveis experimentadas estão numa região de ótimo para a rugosidade Ra, assim fica evidente a importância da interação dos fatores Vc-f-ap;
- A viabilidade de se trabalhar com altos avanços ( $f=0,4$  mm/v) com cerâmica wiper em aços duros traz grandes vantagens competitivas para este processo de usinagem.

## 6. AGRADECIMENTOS

À Capes, CNPq e Fapemig pelos recursos dispensados para realização deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

- Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J.S. 1978, Statistics for Experimenters. New York, John Wiley & Sons, 1978.
- Choudhury, I.A., El-Baradie, 1998, "Tool-life prediction model by design of experiments for turning high strength steel (290 BHN)", Journal of Materials Processing Technology, vol. 77, pp.319-326.
- Cus, F., Zuperl, U., 2006, "Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 175, Issue 3, pp. 281-290.
- Dhavlkar, M. N., Kulkarni, M. S., Mariappan, V., 2003, "Combined Taguchi and dual response method for optimization of a centerless grinding operation", Journal of Materials Processing Technology, vol. 132, pp. 90-94.
- Galdámez, E. V. C, 2002, Aplicação das Técnicas de Planejamento e Análise de Experimentos na Melhoria da Qualidade de um Processo de Fabricação de Produtos Plásticos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Montgomery, D.C. 2004, Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons.
- Montgomery, D.C., 2001, "Designs and Analysis of Experiments", 4ª ed. John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C., Runger, G. C. 2005 Estatística aplicada a probabilidades para engenheiros, 2. ed. Rio de Janeiro.

- Noordin, M.Y. Venkatesh, V. C., Sharif, S., Elting, 2004 and Abdullah, A, “Application of response surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 145, pp.46-58.
- Prvan, T., Street, D. J, 2002 An annotated bibliography of application papers using certain classes of fractional factorial and related designs. Journal of Statistical Planning and Inference, n.106, p.245-269.
- Sales, G. T. 2004, Torneamento do aço ASTM 300M endurecido com ferramentas de cerâmica e PCBN com geometria “Wiper”. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá.
- Shaw, M., 2004, “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, New York, USA, 672p.
- Sandvik-Coromant. Tecnologia da usinagem dos metais-Manual técnico, Sandviken, Sweden, 2010.

#### 8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## MODELLING OF SURFACE ROUGHNESS (Ra, Rt, Rz, Rq and Ry) IN TURNING OF HARDENED AISI 52100 STEEL USING MIXED CERAMIC WITH WIPER GEOMETRY

COF 11-0330

**Abstract:** *In the study of the life of tools and the average roughness of machined surfaces, the turning process, there is the influence of various process factors, such as cutting speed, feed and depth of cut. In the conventional analysis of the influence of these factors in the machining process is usually studied the influence of each of them separately. It is in this context that the design methodology of experiment (DOE) through which one can establish a proper working relationship between product characteristics( surface roughness) and the cutting parameters. This approach is statistical in nature to design experiments capable of generating appropriate data for effective analysis, resulting in valid and objective conclusions. This research deals with the modeling of several parameters of surface roughness (Ra, Rt, Rz, Rq and Ry) in the process of turning of hardened AISI 52100 steel (50 HRC) with mixed ceramic tool coated with titanium nitride using wiper geometry (smoothing). The models will be obtained by response surface methodology as variables influence the parameters of cutting speed, feed rate and depth of cut.*

**Keywords:** *Modelling roughness, hard turning, ABNT 52100 Steel, Ceramic with Wiper geometry, DOE.*