

2019
São Carlos - SP



10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação
05 a 07 de agosto de 2019, São Carlos, SP, Brasil

RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE ACABAMENTO EM TORNEAMENTO EXTERNO E OS ERROS DE CIRCULARIDADE NO AÇO ABNT 1020

Edleusom Saraiva da Silva

Francisco Augusto Vieira da Silva

Javane Pereira de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300 – Cajazeiras, Paraíba

edleusom.silva@gmail.com

francisco.vieira@ifpb.edu.br

javanepsouza@hotmail.com

Resumo. Os processos de usinagem têm como objetivo a alteração das dimensões de uma peça e são amplamente utilizados no meio industrial. Atualmente qualquer aprimoramento que seja realizado na máquina, material, ferramenta ou processo, pode gerar uma redução no custo de fabricação. Apesar do avanço no desenvolvimento da tecnologia de corte, é impossível obter superfícies exatas, portanto, as peças fabricadas devem apresentar os menores erros admissíveis para atender as condições impostas pelo projeto. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência que os parâmetros de corte têm sobre o erro de circularidade da peça. Para a análise dos erros de circularidade, foi utilizada uma máquina de medição por coordenadas modelo TESA MICRO-HITE 3D. A partir dos resultados, um planejamento fatorial do tipo 2^3 foi realizado com o auxílio de um software comercial. O avanço, a profundidade de corte e a velocidade de corte são definidas como variáveis de entrada. Os resultados encontrados mostram que a velocidade de corte e a interação entre a velocidade de corte e o avanço são parâmetros que influenciam significativamente os valores previstos dos erros de circularidade.

Palavras chave: Erros de circularidade. Torneamento externo. Planejamento fatorial.

1. INTRODUÇÃO

Na medida em que ocorre o desenvolvimento tecnológico, é natural que se ofereça soluções eficientes e eficazes quanto a otimização de processos promovendo confiabilidade, produtividade e rentabilidade. Nas máquinas operatrizes, otimizar o processo de usinagem é reduzir os tempos de movimentos, bem como, determinar os melhores parâmetros de corte para que o material usinado obtenha os melhores aspectos metrológicos (dimensionais e de forma). Mas é notório saber que as condições inerentes ao processo de usinagem, isto é, a retirada de material, comumente estimula que a peça apresente resultados indesejados.

Silva (2017) diz que as máquinas-ferramenta estão sujeitas a diversos fatores que influenciam a qualidade geométrica e dimensional da peça usinada tais como: condições do ambiente em que se encontra instalada a máquina ferramenta, vibrações naturais do ambiente, e principalmente os fatores internos, ou seja, aqueles que já acompanham a máquina-ferramenta, por exemplo, os carregamentos mecânicos e térmicos. A melhoria da exatidão dos produtos e processos oferecem benefícios significativos para uma ampla gama de aplicações para produção em massa com maior qualidade e melhor confiabilidade. O desenvolvimento de máquinas-ferramenta de ultra precisão só se tornou possível devido aos estudos da metrologia industrial e científica sob os aspectos qualitativos e quantitativos. Esses estudos promoveram excelentes alcances.

A ocorrência de erros dimensões e características esperadas é inevitável, seja em consequência da variabilidade de fatores que influenciam o processo de usinagem, tais como condições de corte, geometria da ferramenta e estado metalúrgico do material, como também devido aos processos inerentes à caracterização/medição do mensurando. Diante disto, identificam-se erros de forma na estrutura da peça sendo definidas como a diferença entre a superfície real da peça e a forma geométrica teórica. São denominados desvios de forma (erros de forma) os desvios de um elemento geométrico em relação à sua forma teórica, tais como retas, planos, círculos, cilindros, perfis e superfícies (COSTA e MACHADO, 2011).

Setti, Oliveira e Silva (2011) afirmam que as peças usinadas com alta profundidade de corte apresentam maiores desvios de circularidade.

Os controles de erros de forma e posição, rotineiramente, são feitos por meio de calibradores e dispositivos funcionais, porém, há casos em que se faz necessário o controle não apenas qualitativo, mas também quantitativo das tolerâncias geométricas. Esse fato traz consigo a necessidade de se obter números por meio de medições com equipamentos que atendam a esse propósito, como por exemplo, os relógios comparadores e apalpadores.

Conforme Klen (2000), a Máquina de Medir por Coordenadas (MMC) proporcionou melhorias no fluxo do processo de controle das peças fabricadas, atenuando a complexidade, outrora existente, dos sistemas de medição desenvolvidos, *in-loco* ou não, nas medições dos erros de forma e posição.

Este trabalho consiste em aliar a facilidade da obtenção do erro de forma do tipo circularidade por meio de uma Máquina de Medir por Coordenadas (MMC), com a confiabilidade conseguida por meio da escolha adequada dos parâmetros de usinagem utilizando o Planejamento Fatorial 2^K , pois, segundo Setti, Oliveira e Silva (2011) a importância do estudo de circularidade se dá de acordo com o crescimento da precisão e exatidão que devem existir entre as peças que serão acopladas, na qual, somente a precisão dimensional não é o suficiente para garantir a funcionalidade do par acoplado, além disso, o desvio de circularidade sofre a influência do material, da geometria da ferramenta de corte e dos parâmetros de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

Para determinar a influência dos parâmetros de acabamento em um processo de torneamento externo, foi realizado um planejamento fatorial do tipo 2^3 e diversas hipóteses nulas foram propostas em relação aos efeitos de cada variável, como também, sobre os efeitos de suas interações quadráticas.

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu, experimentalmente, em duas etapas: A primeira etapa foi a usinagem dos dezesseis (16) corpos de prova; e a segunda etapa, a medição da circularidade em uma distância de 2 mm abaixo da aresta de topo dos corpos de prova usinados, foram medidos oito pontos para definir a circularidade da peça, sendo que cada ponto coletado tinha uma defasagem de 45° um do outro com relação ao centro do corpo de prova medido. Para tal propósito, foi utilizado um torno CNC modelo LOGIC 195 III com linguagem Fanuc TC-0i e uma Máquina de Medir por Coordenadas modelo TESA MICRO-HITE 3D.

O material metálico usado neste estudo foi o aço ABNT 1020, conseqüentemente, o material da ferramenta de corte selecionado é um inserto de metal duro classe P modelo DNMG 15 06 04-PF 4225. Este inserto tem o raio de ponta de 0,397 mm e aresta efetiva de corte de 15,104 mm de acordo com a fabricante. Todo o experimento ocorreu sem a presença de fluido lubri-refrigerante e, destaca-se também que, foi escolhido um *probe* com ponta de rubi de 3 mm de diâmetro como sensor na MMC visando qualificar os corpos de provas quanto às suas respectivas circularidades.

Como parâmetros de corte, foram definidos dois níveis de avanço, profundidade de corte e velocidade de corte, de tal modo que para cada corpo de prova a ser usinado, uma combinação destes três parâmetros foi aplicada. Ressalta-se que todas as operações ocorreram com velocidade de corte constante e rotação de máquina limitada a 3200 rpm.

2.2. Tratamento de dados

Após a operação de usinagem, cada peça foi submetida a ensaio de 11 medições na MMC com o intuito de obter a média das amostras de circularidade, e assim, ter os valores da variável dependente do planejamento experimental proposto. Com estes resultados, também, foi possível certificar que todos os ensaios satisfizeram o controle estatístico do processo de medição para ensaios com 10 graus de liberdade com nível de confiança de 99% dos valores aleatórios de circularidade estarem na faixa esperada. Ainda é possível verificar por meio do tratamento dos dados que a peça do ensaio (iii) apresentou um valor de incerteza padrão de 5,1 μm , o que representou o maior valor entre todas as amostras, enquanto que peça do ensaio (v) apresentou a menor 1,8 μm , ambas na primeira réplica do nosso planejamento experimental.

2.3. Planejamento 2^3

Segundo Calado e Montgomery (2003), o planejamento fatorial é uma técnica que pode ser utilizada quando se tem dois ou mais fatores independentes e que é possível analisar os efeitos individuais e também de todas as combinações possíveis destas variáveis em relação a variável dependente do processo estudado.

O planejamento fatorial proposto é do tipo 2^3 , onde foram escolhidas condições de usinagem para o processo de acabamento em aço ABNT 1020. Os níveis para o avanço, para a profundidade de corte e para a velocidade de corte foram (0,05;0,15), (0,5;1) e (100;200), respectivamente. Todas as variáveis independentes possuem natureza quantitativa, assim, é possível predizer valores, bem como, fazer uma análise minuciosa de cada efeito sobre o erro de circularidade. A Tabela (1) as variáveis utilizadas no planejamento, de tal modo que, a combinação entre estas, possibilitou organizar a partir de duas réplicas as 16 corridas experimentais. Ela ainda apresenta os erros de circularidade em milímetros, obtidos experimentalmente a partir das variações dos parâmetros de corte utilizados.

Tabela 1. Planejamento Fatorial (autoria própria)

Réplica	Ensaio	Interações	Avanço (mm/rot)	Prof. de Corte (mm)	Veloc. de Corte (mm/min)	Circularidade (mm)
1	i	[1]	0,05	0,5	100	0,017
	ii	A	0,15	0,5	100	0,027
	iii	b	0,05	1	100	0,010
	iv	ab	0,15	1	100	0,016
	v	c	0,05	0,5	200	0,034
	vi	ac	0,15	0,5	200	0,026
	vii	bc	0,05	1	200	0,030
	viii	abc	0,15	1	200	0,030
2	ix	[1]	0,05	0,5	100	0,015
	x	a	0,15	0,5	100	0,024
	xi	b	0,05	1	100	0,014
	xii	ab	0,15	1	100	0,022
	xiii	c	0,05	0,5	200	0,026
	xiv	ac	0,15	0,5	200	0,028
	xv	bc	0,05	1	200	0,024
	xvi	abc	0,15	1	200	0,026

2.4. Resultados

A partir da Tabela (1), tornou-se possível com ajuda de um software comercial, realizar o planejamento fatorial, e uma série de resultados foram obtidos. A Tabela (2) apresenta a tabela da ANOVA para um grau de confiança de 95%; os resultados mostram por meio do valor-p que as hipóteses nulas propostas para a profundidade de corte, a interação entre o avanço e profundidade de corte e a interação da profundidade de corte e da velocidade de corte são verdadeiras, enquanto que para a velocidade de corte e para a interação entre o avanço e a velocidade de corte são rejeitadas devido ao menor valor da significância escolhidas. É também interessante destacar, que apenas o avanço é marginalmente significativo. Quanto à falta de ajuste para o modelo, percebe-se que a análise falha em rejeitar a hipótese nula, pois o valor-p é maior que 5%, consequentemente, não existem evidências para afirmar que há falta de ajuste no modelo.

Tabela 2. Análise da Variância (ANOVA) do torneamento externo quanto à circularidade (autoria própria)

Fator	SS	df	MS	F	p-valor
(1)avanço – f	0,000053	1	0,000053	4,54595	0,065576
(2)AP	0,000039	1	0,000039	3,37838	0,103356
(3)VC	0,000390	1	0,000390	33,73514	0,000401
1 x 2	0,000001	1	0,000001	0,04865	0,830956
1 x 3	0,000086	1	0,000086	7,40000	0,026237
2 x 3	0,000018	1	0,000018	1,56216	0,246673
Falta de Ajuste	0,000011	1	0,000011	0,91351	0,367170
Erro Puro	0,000093	8	0,000012	-	-
Total SS	0,000689	15	-	-	-

É interessante ainda apresentar a Tab. (3) que representa os efeitos das variáveis; nela, verifica-se os coeficientes para o modelo das variáveis escalonadas, conforme apresentada na Eq. (1), onde, as variáveis, VC e f, são a velocidades de corte e o avanço, respectivamente, expressas em níveis escalonados (-1 e 1), e, EC é o erro de circularidade expresso em µm. Observa-se ainda que o desvio padrão é menor que todos os efeitos, consequentemente, tem-se um modelo ajustável e satisfatório.

$$EC = 23,0746 + 4,9375(VC) + 1,1825(f) - 2,3125(VC.f) \quad (1)$$

O diagrama de Pareto, Fig. (1), ajuda a ratificar a análise qualitativa anteriormente realizada. Percebe-se novamente que a velocidade de corte e a interação da velocidade de corte com o avanço produzem efeitos significativos aos erros de circularidade, pois extrapolam o nível de significância. Como o avanço apresenta uma interação significativa com a velocidade de corte, convém a inclusão do efeito linear desta variável no modelo estatístico proposto.

Tabela 3. Efeitos lineares e quadráticos do planejamento fatorial (autoria própria)

	Efeito	Desv. P.	t(8)	P	-95,%	+95,%	Coef.	Desv. P	-95,%	+95,%
Média	0,023063	0,000850	27,12942	0,000000	0,021102	0,025023	0,023063	0,000850	0,021102	0,025023
(1)avanço	0,003625	0,001700	2,13212	0,065576	-0,000296	0,007546	0,001813	0,000850	-0,000148	0,003773
(2)AP	-0,003125	0,001700	-1,83804	0,103356	-0,007046	0,000796	-0,001563	0,000850	-0,003523	0,000398
(3)Vc	0,009875	0,001700	5,80820	0,000401	0,005954	0,013796	0,004938	0,000850	0,002977	0,006898
1 x 2	0,000375	0,001700	0,22056	0,830956	-0,003546	0,004296	0,000188	0,000850	-0,001773	0,002148
1 x 3	-0,004625	0,001700	-2,72029	0,026237	-0,008546	-0,000704	-0,002313	0,000850	-0,004273	-0,000352
2 x 3	0,002125	0,001700	1,24986	0,246673	-0,001796	0,006046	0,001063	0,000850	-0,000898	0,003023

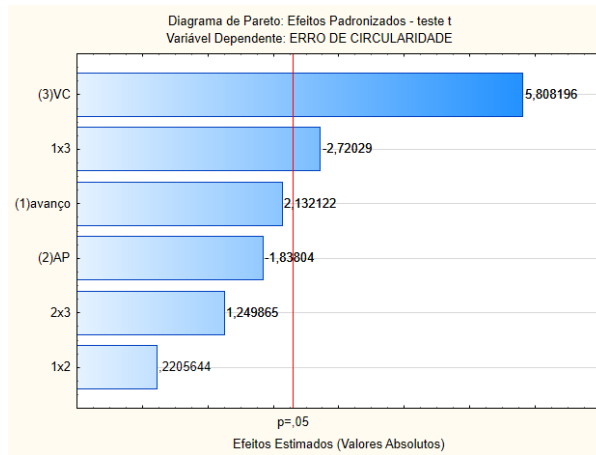


Figura 1. Diagrama de Pareto: teste t

É possível verificar por meio da ausência de *outliers*, na Fig. (2a), que a suposição da normalidade é válida neste planejamento. Na Figura (2b), é apresentado as médias marginais, as primeiras impressões quantitativas podem ser aferidas por meio desses gráficos; verifica-se por meio da não paralelismo que existe efeitos significativos de interação no planejamento, principalmente quando existir a variabilidade do avanço e da velocidade de corte. Perceba que as menores circularidades ocorreram para os níveis baixos da velocidade de corte e do avanço e para o nível alto da profundidade de corte. Se no plano de usinagem na operação de acabamento, for desejável trabalhar com velocidades de cortes baixas, optar-se-á por oferecer condições de altas profundidades de cortes para que se obtenha bons níveis de erro de circularidade. É interessante ainda destacar que se terão os maiores níveis de circularidade para as condições que são, geralmente, sugeridas pela literatura para a operação de acabamento: baixo avanço, baixa profundidade de corte e alta velocidade de corte. Ainda analisando a Fig. (2b) pode ser visto que o aumento da profundidade de corte proporcionou uma diminuição no erro de circularidade das peças analisadas, diferentemente do que Setti, Oliveira e Silva (2011) descrevem em seu trabalho.

Por fim, a Figura (3) mostra que não há padrão de comportamento na distribuição das variáveis aleatórias, consequentemente, tem-se um modelo satisfatório devido a variância constante do resíduo. Quanto aos valores previstos e observados, ratifica-se que o desvio-padrão é baixo e, portanto, a caracterização de ajuste é satisfatória para o modelo previsto.

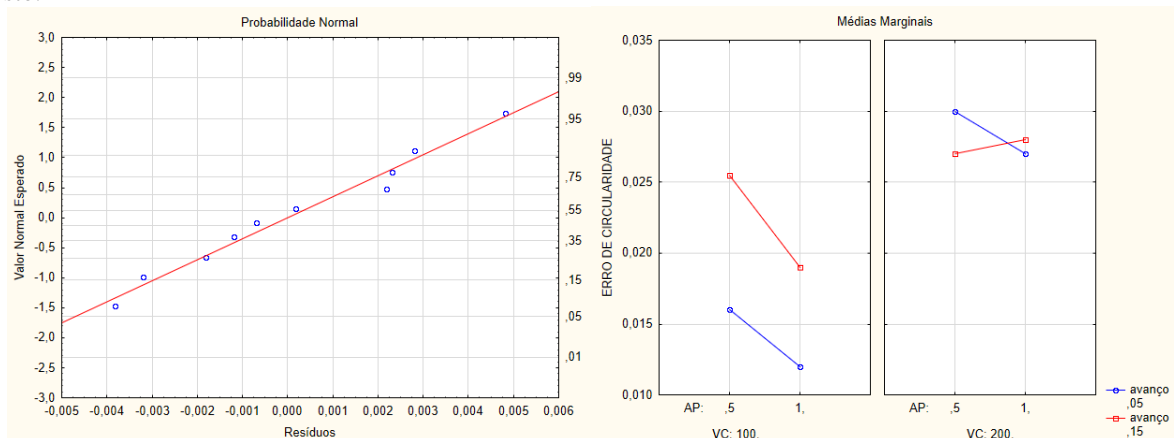


Figura 2. Análises: (a) Teste de Normalidade; (b) Médias

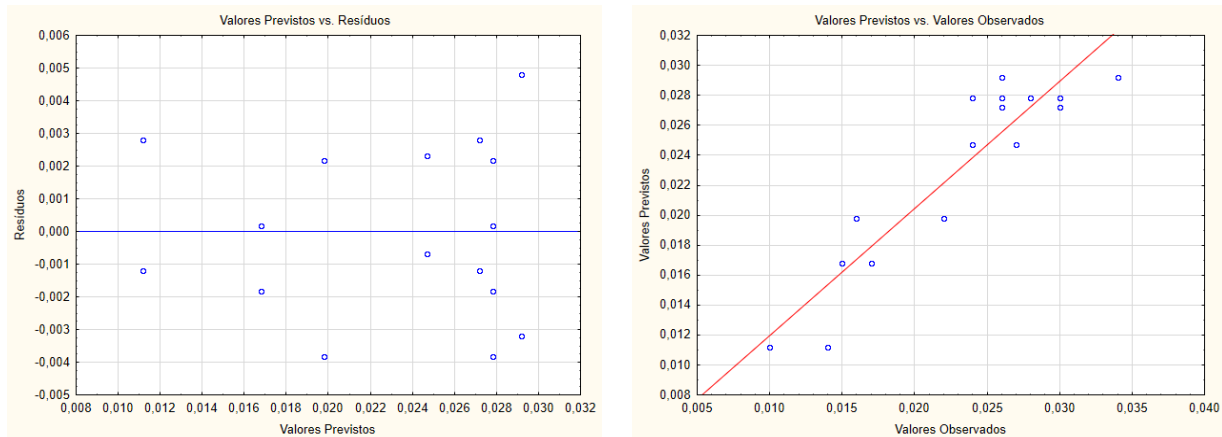


Figura 3. Análise dos resíduos: Verificação da distribuição aleatória

2.5. Conclusões

O desenvolvimento deste trabalho permitiu concluir que: (I) Obteve-se a maior incerteza padrão para a peça que foi usinada com níveis baixos de avanço e velocidade de corte, e, nível alto de profundidade de corte. (II) O planejamento fatorial foi satisfatório conforme as análises de variância e dos resíduos. (III) O Avanço é marginalmente significativo, enquanto a velocidade de corte e a interação entre estas duas variáveis afetam a circularidade do aço ABNT 1020. (IV) Existe uma distribuição aleatória sobre os valores previstos, desprezando então a necessidade da busca de outro modelo. (V) Para atingir bons níveis de circularidade, sob condições de operação de acabamento, para este aço, recomendar-se-á usinagens com condições de corte limítrofes inferiores para o avanço e a velocidade de corte, em compensação, buscar-se-á altas profundidades de cortes específicas para este tipo de operação, pois o raio da ponta é pequeno e, conseqüentemente, não tão resistente para altíssimas solicitações mecânicas. (VI) O modelo apresentou um coeficiente de determinação de 0,89 com grau de confiança de 95%.

3. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFPB Campus Cajazeiras pelo apoio estrutural e aporte financeiro à pesquisa.

4. REFERÊNCIAS

- Calado, V. e Montgomery, D. C., 2003. "Planejamento de Experimentos usando o Statistica", Rio de Janeiro, Brasil, E-papers Serviços Editoriais.
- Costa, E. S., Machado, A. R., 2011, "Avaliação do erro de circularidade na furação do aço microligado DIN 38MnS6 com aplicação de diferentes sistemas lubri-refrigerantes", 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Klen, E. R., 2000, "Calibração de Máquinas de Medir por Coordenadas Utilizando Placas de Esferas – Uma Técnica Econômica, Rápida e Metrologicamente Eficiente", Dissertação de Mestrado em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.
- Setti, D. F., Oliveira, J. E. F., Silva, L. R. O., 2011, "Estudo da influência dos parâmetros de usinagem no acabamento superficial e na tolerância geométrica de peças torneadas", II Congresso Internacional de Metrologia Mecânica, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.
- Silva, F. A. V., 2017, "Análise da Exatidão de Contorno de Centro de Usinagem CNC", Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

RELATIONSHIP BETWEEN EXTERNAL TURNING FINISHING PARAMETERS AND ROUNDNESS IN 1020 STEEL

Edleusom Saraiva da Silva

Francisco Augusto Vieira da Silva

Javane Pereira de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Rua José Antônio da Silva, 300 – Cajazeiras, Paraíba

edleusom.silva@gmail.com

francisco.vieira@ifpb.edu.br

javanepsouza@hotmail.com

***Abstract:** Machining processes aim at changing the dimensions of a part, and they are widely used in the industry. At present, any improvements made to the machine, material, tool or process can lead to a reduction in manufacturing cost. Despite the progress in the development of cutting technology, it is impossible to obtain surfaces with strict accuracy. Therefore, the manufactured parts must have the smallest errors to meet the conditions imposed by the project. This work aims to evaluate the influence that the cutting parameters induce on the circularity of the piece. For the analysis of roundness errors, a TESA MICRO-HITE 3D coordinate measuring machine was used. From the results, a factorial design of type 2^3 was carried out with the aid of commercial software. Feed rate, depth of cut and cutting speed are defined as input variables. The results show that the cutting speed and the interaction between the cutting speed and the feed are parameters that significantly influence the predicted values of roundness errors.*

***Keywords** Roundness errors. External turning. Factorial design.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.