

Avaliação do desempenho da usinagem a seco sobre a circularidade e diâmetro de furos sede de rolamento de peças de alumínio na operação de mandrilhamento usando ferramenta de PCD

Paulo Paiva de Carvalho (Universidade Federal de Minas Gerais) paulopaiva01@yahoo.com.br
Juan Carlos Campos Rubio (Universidade Federal de Minas Gerais) Juan@ufmg.br
Paulo Sérgio Martins (Centro Universitário Una) paulo.martins@prof.una.br

Resumo:

A usinagem a seco tem sido estudada como uma das mais econômicas alternativas de usinagem, uma vez que elimina completamente o fluido de corte do processo. Isso confere ao processo uma considerável redução de custos, além de contribuir para redução do impacto ambiental e da melhoria da qualidade do ar no chão de fábrica. Porém, usinar a seco não significa somente retirar o fluido de corte, mas é necessário um estudo de todo o processo produtivo para certificar a viabilidade na manutenção das mesmas condições do processo obtidas na usinagem com fluido de corte, no que tange, principalmente, às características qualitativas da peça e a vida útil da ferramenta. Considerando a fabricação de peças de alumínio a usinagem a seco pode representar um risco para o processo produtivo, uma vez que o calor gerado no corte deve ser absorvido pela peça e pela ferramenta sem alterações significativas nas suas características. Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho da usinagem a seco, comparativamente à usinagem com fluido de corte na operação de mandrilhamento de furos sede de rolamento de peças de alumínio de parede fina, tais como as carcaças das transmissões de veículos automotores. Os resultados das medições de circularidade e diâmetro obtidos através do planejamento fatorial utilizando-se os mesmos parâmetros de corte para ambas as técnicas de usinagem evidenciam o bom desempenho da usinagem a seco e consequentemente a possibilidade de substituição da usinagem com fluido de corte sem comprometimento das características qualitativas avaliadas.

Palavras chave: circularidade, mandrilhamento, alumínio, seco, PCD

Dry machining performance evaluation regarding roundness and diameter of bearing seat hole of aluminum parts in reaming operation using PCD tool

Abstract

Dry machining has been studied as one of the most economic alternative machining, once completely eliminates the cutting fluid from process. This gives the process a considerable cost reduction in addition to contribute for reducing the environmental impact and improve the air quality on the shop floor. However, dry machining means not only removing the cutting fluid but a study of the entire production process is necessary to ensure the viability of maintaining the same process conditions obtained with conventional machining regarding, mainly, to qualitative characteristics of the

workpiece and tool life. Whereas the manufacture of aluminum parts the dry machining can represent a risk for the production process, since the heat generated in the cut must be absorbed by the workpiece and the tool without significant changes in their characteristics. Thus, this study aims to evaluate the dry machining performance compared it to machining with cutting fluid in reaming operation of the bearing seat holes of thin-walled aluminum parts such as transmission housing of vehicles. The results of roundness and diameter obtained by factorial design using the same cutting parameters for both machining techniques show good performance of the dry machining and consequently the possibility of replacing the conventional machining by dry machining without considering the qualitative characteristics evaluated.

Key-words: roundness, reaming, aluminum, dry

1. Introdução

O mercado industrial, sobretudo as indústrias que fabricam produtos em série, a exemplo da indústria automobilística, tem se tornado, a cada ano, mais competitivo. Esta crescente competitividade entre as indústrias impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias e melhorias nos processos de fabricação, o que contribui para aumento da qualidade dos produtos. Assim, para se manterem competitivas, as indústrias têm buscado formas de aumentar o desempenho dos processos produtivos e consequentemente reduzir os de fabricação. No âmbito dos processos de usinagem, várias técnicas têm sido estudadas para redução ou eliminação do fluido de corte. Segundo Sarikaya e Güllü (2014, apud Sharma et al, 2009) pode-se citar: refrigeração criogénica, lubrificantes e refrigerantes sólidos, corte a seco, MQL (mínima quantidade de líquido), refrigeração a alta pressão, refrigeração interna de ferramentas e uso de ar/gases comprimidos. Devido à dificuldade de instrumentação nos processos de alta produtividade, algumas técnicas tais como: refrigeração criogénica e uso de gases comprimidos não são utilizadas nas indústrias. Outras, no entanto já são de uso cotidiano nas indústrias, tais como: refrigeração à alta pressão e refrigeração interna de ferramentas. Ainda sim, estas permanecem utilizando uma grande quantidade de líquido razão pela qual elas ainda são classificadas como refrigeração convencional.

As técnicas de usinagem com mínima quantidade de fluido (MQL) e a seco possuem aplicações específicas nas indústrias, embora existam empresas que produzem em série utilizando a técnica MQL. Segundo Tai et al (2014) a Ford Motor Company lançou sua primeira linha produtiva utilizando MQL em 2005, na fábrica nos estados unidos. Segundo esses autores, devido ao grande sucesso no emprego da usinagem com MQL na fabricação de componentes prismáticos tais como: bloco em ferro fundido, cabeçotes, bloco motor e carcaças de transmissão em alumínio e virabrequim, esta técnica se tornou padrão para aquisição de novas linhas produtivas sendo incluída na lista de BOP (Best Of Process).

Levando-se em consideração a máxima redução de custos, a técnica de usinagem a seco é a mais vantajosa, porém, usar a seco não implica somente em retirar o fluido corte, mas é preciso um estudo minucioso de todo processo, o que inclui a operação de usinagem, a máquina, o material da peça, a ferramenta e dispositivos de fixação, uma vez que, eliminando o fluido de corte perde-se também as funções desempenhadas por ele tais como: refrigeração, lubrificação e remoção de cavacos (Weinert et al, 2004). Em alguns casos, tanto a operação quanto o material podem ser impeditivos para aplicação da usinagem a seco. Segundo Dhar et al (2006), é impossível realizar a operação de furação a seco em ligas de alumínio-silício. Isso devido à alta ductilidade deste material, que sem refrigeração e lubrificação, facilita a aderência do cavaco à ferramenta, provocando sua fratura em um curto tempo.

Ainda assim, há um grande apelo para uso da técnica de usinagem a seco, devido à grande contribuição na preservação ambiental, uma vez que elimina os rejeitos descartados no meio ambiente e melhora a qualidade do ar no chão fábrica reduzindo os problemas de saúde causados nos operadores, especialmente nos fluidos de corte emulsivos, devido à geração de névoa. Porém, os efeitos do aquecimento causado pela alta temperatura gerada no corte podem influenciar na qualidade dos produtos, especialmente os fabricados em alumínio, o que limita ou mesmo impede o uso da usinagem a seco em larga escala nos processos industriais. Isso porque o efeito do aquecimento nas tolerâncias das peças torna o processo produtivo instável, uma vez que as funções exercidas pelo fluido de corte, citadas anteriormente, não estão presentes na usinagem a seco, o que provoca aumento de atrito e adesão do material da peça na ferramenta de corte, resultando em menor vida útil, menor produtividade e dificuldade em garantir as tolerâncias exigidas pelo produto (Yuan et al, 2011). Dhar et al (2006) torneando aço AISI 1040 investigou influencia dos parâmetros de corte na temperatura, como mostra a figura 1. Os resultados evidenciam maiores temperaturas na interface cavaco-ferramenta na usinagem a seco principalmente para altos valores de avanço. Porém, para avanços intermediários, os valores da temperatura são próximo aos encontrados na usinagem com fluido de corte e MQL.

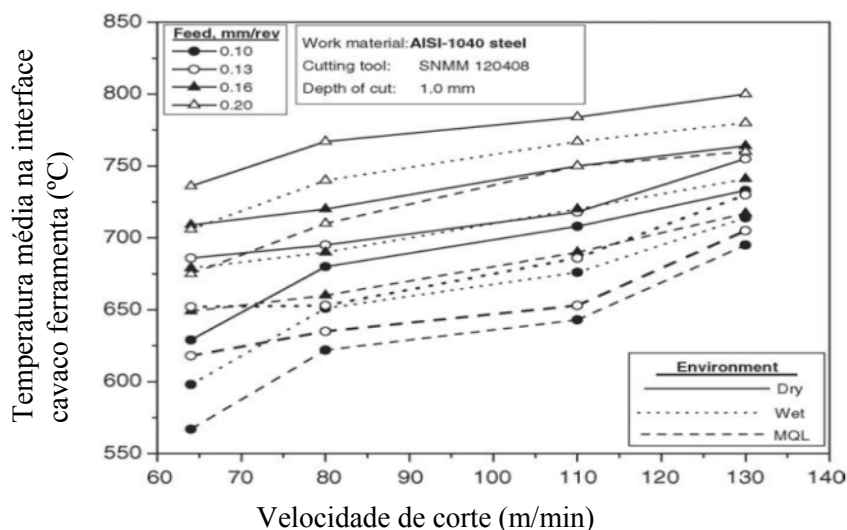


Figura 1 - Influencia da velocidade de corte e avanço na temperatura de interface cavaco-ferramenta no torneamento à seco, com MQL e fluido convencional do aço AISI 1040 (Dhar et al, 2006).

Coz et al (2012) realizou experimentos com a liga de alumínio aeronáutico AA 7075 a fim de investigar a influencia do revestimento das ferramentas na temperatura da ferramenta e potência consumida pelo eletromandril da máquina. Desta forma, foram feitas usinagens a seco utilizando-se fresa de topo com diâmetro de 16 mm com duas hélices, cujos parâmetros de corte utilizados foram: velocidade de corte 700 m/min, avanço de 0,2 mm/aresta, a_e e a_p de 4 e 8 mm respectivamente. A figura 2 mostra os resultados de temperatura obtidos em função dos tipos de revestimento utilizados na ferramenta. Percebe-se que há uma redução da temperatura entre os revestimentos 1 e 3 da ordem de 30%. Os autores também avaliaram o desgaste das ferramentas concluindo que a adesão foi o principal mecanismo de desgaste atuante.

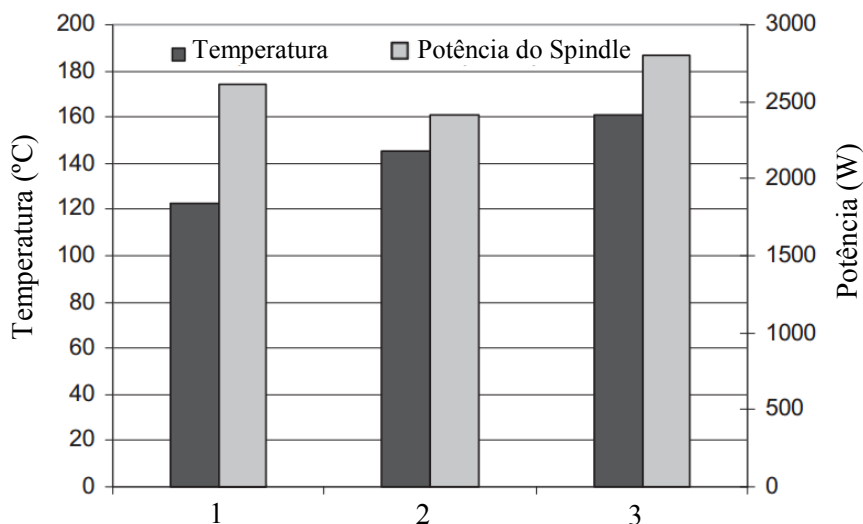


Figura 1 - Tipos de revestimento: 1- AlTiN nano estruturado espessura 1,3 µm; 2 – AlTiN nano estruturado espessura 2,3 µm; 3 – Diamante espessura 10 µm. Fonte: (Coz et al, 2012)

Dentre as operações de usinagem, a operação de mandrilhamento é utilizada para acabamento de furos de alta precisão. Esta operação pressupõe uma usinagem prévia de desbaste, tornando-se uma excelente alternativa para eliminação de operações de retífica, honing ou polimento (BEZZERRA et al, 2001). Wang et al (2013) e Bhattacharyya et al (2006) definem o mandrilhamento como uma usinagem de precisão cujo objetivo é alargar o diâmetro dos furos para se alcançar estreitas tolerâncias finais exigidas pelo produto, tais como diâmetro, circularidade, cilindridade, rugosidade e posição.

No caso de acabamento de furos em peças de alumínio, a operação de mandrilhamento é imprescindível para obtenção das tolerâncias, geralmente com ajuste H7. Bezzerra et al (2001) analisaram a influencia dos parâmetros de corte nas características qualitativas de furos com 12 mm de diâmetro, utilizando um alargador de 11,997 mm de diâmetro médio e 140 mm de comprimento. A figura 2 mostra os resultados obtidos para o diâmetro e circularidade em função do numero de facas, avanço e velocidade e corte. Segundo os autores, menores valores da variação do diâmetro e da circularidade ocorreram a baixas velocidades de corte. Em relação à velocidade de corte, os resultados contradizem a literatura, uma vez que à baixas velocidades de corte há maior probabilidade de formação de aresta postiça de corte, o que conduziria a maiores variações do diâmetro em relação à altas velocidades de corte, pois, neste ultima condição, a aresta postiça de corte tenderia a desaparecer, reduzindo-se, assim, as variações do diâmetro. Este comportamento seria esperado para ligas de alumínio hipereutetóidicas, porém, em caso de ligas hipoeutetóidicas a formação da aresta postiça de corte não é esperada em função da ausência da segunda fase neste tipo de liga, resultado comprovado pela negligenciável existência de aresta postiça de corte nos testes realizados. Assim, quanto maior a velocidade de corte e avanço, maiores tenderiam a ser as variações no diâmetro devido ao aumento da vibração e chatter, o que pode ser comprovado pela variação da qualidade da superfície dos furos com o aumento da velocidade de corte, como mostra a figura 3.

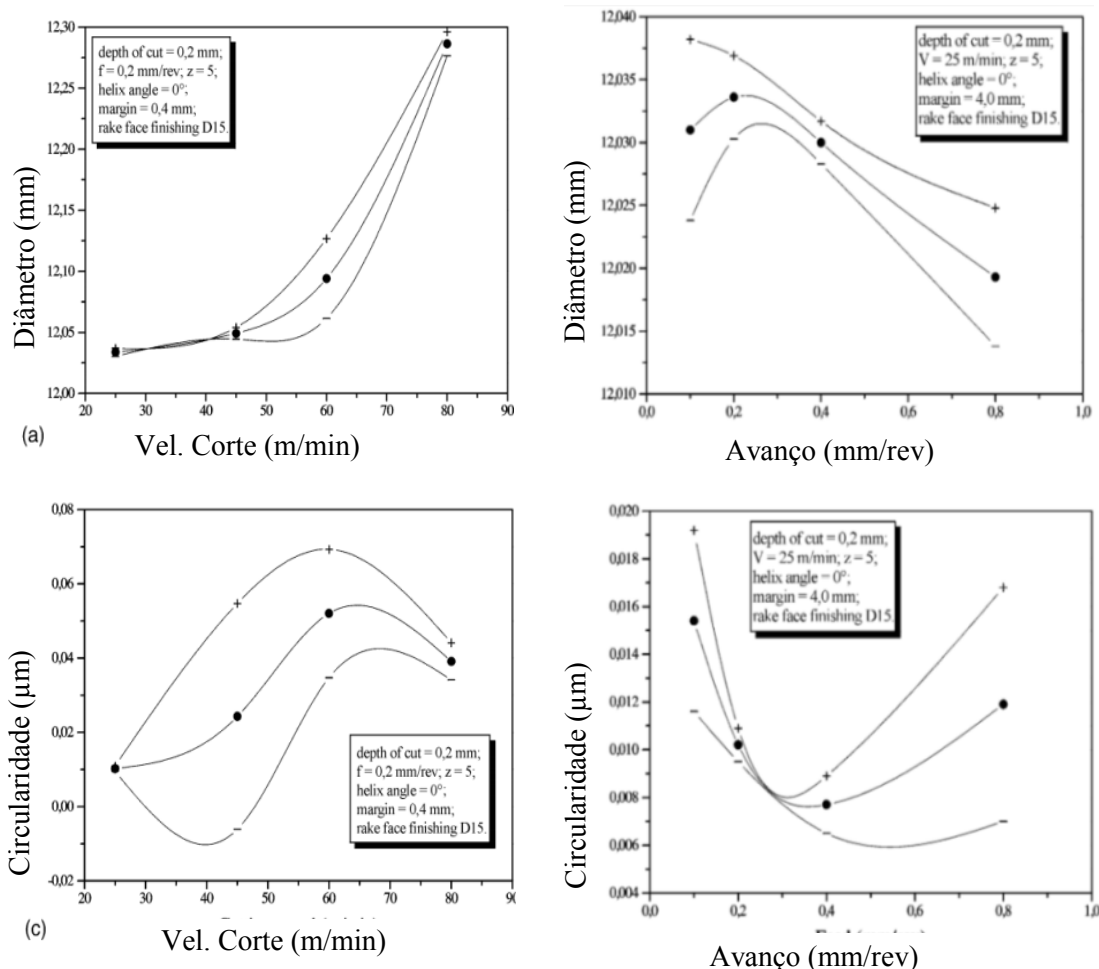


Figura 2 - Variação do diâmetro e circularidade em função da velocidade de corte e avanço. Fonte: Bezzerra et al (2014)

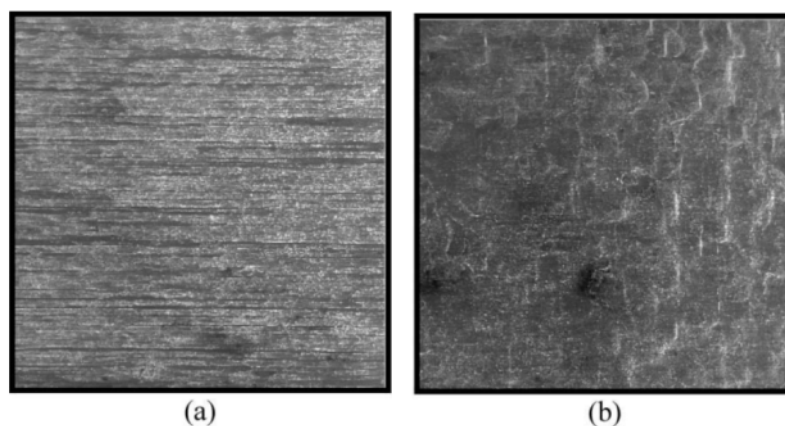


Figura 3 - Variação do acabamento superficial para diferentes velocidades de corte, evidenciando aumento da vibração, (x7 ampliação). Fonte: Bezzerra et al (2014).

Em relação ao avanço, os autores evidenciam um considerável aumento da precisão do diâmetro do furo, ou seja, aproximação do valor encontrado em relação ao nominal, com o aumento do avanço. Isso porque utilizando-se baixos avanços, há aumento do tempo de contato entre a ferramenta e a peça, o que provoca sobreposição de corte e consequente aumento do diâmetro. Para a circularidade, percebe-se um ponto ótimo cujo avanço

corresponde a 0,4 mm/rev. Este resultado apresenta também o menor desvio para o diâmetro em relação ao valor base.

Muitos outros autores tem estudado a operação de mandrilamento, sobretudo em peças de ligas alumínio fundidas, tendo em vista a vasta aplicação na fabricação de componentes para indústria automobilística tais como bloco motor, cabeçote e carcaça da caixa de câmbio (WANG et al 2013). Desta forma, levando-se em consideração a característica da operação de mandrilamento, ou seja, a utilização de altas velocidades de corte, altos avanços e baixo volume de material removido, o tempo de corte tende a ser menor e consequentemente o tempo de contato entre a ferramenta e a peça também é menor. Com isso há menor geração de calor, o que permitiria a aplicação da usinagem a seco na operação de mandrilamento sem grandes diferenças qualitativas na peça.

As ligas de alumínio figuram entre os materiais mais difíceis de usinar a seco, devido à sua alta condutividade térmica, a peça absorve uma considerável parcela do calor gerado durante corte, podendo causar distorções geométricas, tendo em vista, também, sua alta expansão térmica, além de apresentarem também dificuldades adicionais devido à formação de cavacos (SREEJITH e NGOI, 2000). Outros fatores que tornam as ligas de alumínio de difícil a usinabilidade são a propensão à formação de aresta postiça de corte e o maior desgaste gerado nas ferramentas de corte devido à abrasão causada pelas partículas de silício presentes nas ligas fundidas (Wang et al 2013), uma vez que o silício aumenta a fluidez da liga de alumínio, tornando-o o principal componente nestas ligas.

Assim, devido à alta resistência à abrasão, as ferramentas de PCD possuem melhor desempenho em termos de desgaste e produtividade em relação às ferramentas de metal duro e aço rápido. Além disso, o PCD possui alto coeficiente térmico e pouca afinidade com o alumínio (SREEJITH e NGOI, 2000).

Este trabalho se propõe à avaliação do desempenho da usinagem a seco comparativamente à usinagem com fluido de corte cujo objetivo é verificar viabilidade da substituição da usinagem com fluido considerando as características analisadas. Para esta verificação foram selecionados os parâmetros circularidade e diâmetro como requisitos qualitativos dos furos. Os experimentos foram planejados e analisados através da técnica DOE (Design Of Experiments).

2. Procedimento experimental

A fim de manter as mesmas características do processo produtivo em série, a carcaça de alumínio da transmissão de veículos automotores foi selecionada como corpo de prova. Dentre as várias usinagens de mandrilamento executadas nesta peça, um dos furos sede de rolamento foi escolhido para a avaliação do desempenho da usinagem a seco, como mostra a figura 4. Desta forma, manteve-se, também, mesma usinagem de desbaste, a fixação da peça, ferramenta e a máquina.

Os experimentos foram executados seguindo o planejamento fatorial, DOE hard-to-change para a variável fluido de corte, com três fatores: velocidade de corte (V_C), avanço (F) e o fluido de corte (*Fluido*), todos com dois níveis, o que resultou em um fatorial 2^3 e um total de 16 testes, incluindo uma réplica. O furo selecionado possui diâmetro acabado de $67^{+0,03}$ mm, sendo a usinagem de desbaste preparada com diâmetro de 65,8mm, o que resulta em 1,2 mm de sobremetal. Os parâmetros de corte selecionados foram: V_C de 1263 m/min (6000 rpm) e 1579 m/min (7500 rpm); F de 4320 mm/min (0,12 mm/aresta) e 6750 mm/min (0,15 mm/aresta) e a variável fluido de corte com níveis COM e SEM fluido. Nos testes com fluido de corte utilizou-se fluido de corte Plantocool MH2030. A tabela 1 mostra a tabulação dos experimentos, a qual foi elaborada com o auxílio do software Minitab versão 17.

Furos sede de rolamento em análise

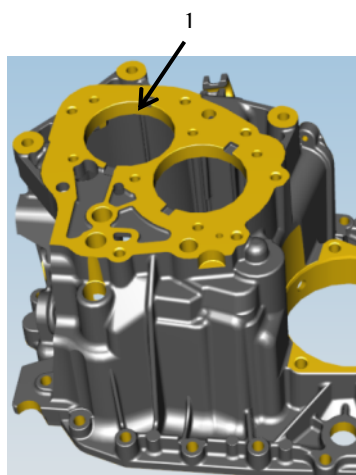


Figura 4 - Identificação da peça utilizada nos experimentos bem como o furo selecionado para análise, furo 1 indicado na figura. Fonte: o autor

StdOrder	RunOrder	FLUIDO DE CORTE	V _C (m/min)	F (mm/min)
8	1	SEM	SEM	1263
5	2	SEM	SEM	1579
7	3	SEM	SEM	1263
6	4	SEM	SEM	1579
14	5	SEM	SEM	1579
16	6	SEM	SEM	1263
15	7	SEM	SEM	1263
13	8	SEM	SEM	1579
2	9	COM	COM	1579
1	10	COM	COM	1579
4	11	COM	COM	1263
3	12	COM	COM	1263
12	13	COM	COM	1579
9	14	COM	COM	1579
11	15	COM	COM	1263
10	16	COM	COM	1263

Fonte: o autor

Tabela 1 – Tabulação dos experimentos

Os testes foram realizados em centro de usinagem Comau 1GXL com 10.000 rpm e potência de 15kW, equipado com ferramenta de corte de PCD com 6 arestas. As medições da circularidade e diâmetro foram feitas por varredura, na linha media da profundidade do furo, utilizando um tridimensional (CMM) marca Zeiss modelo Calypso. A incerteza de medição foi avaliada a partir do certificado de calibração e das condições de medição das peças, considerando uma única medição por peça. Tendo em vista que a sala de medição é mantida à 22°C, mesma temperatura da calibração do tridimensional; que as peças foram climatizadas antes de iniciar as medições e que o tridimensional é qualificado regularmente, seguindo as

orientações do fabricante, adotou-se como incerteza de medição o erro máximo da máquina, $E_{max} = 0,0003$ mm.

3. Resultados e discussão

A figura 5 mostra um exemplo do gráfico obtido para medição da circularidade do furo 1 experimento 16, valor de 0,032 mm. A tabela 2 mostra os resultados das medições da circularidade (C) e diâmetro (D), bem como as variáveis de entrada definidas (V_C , F , $Fluido$).

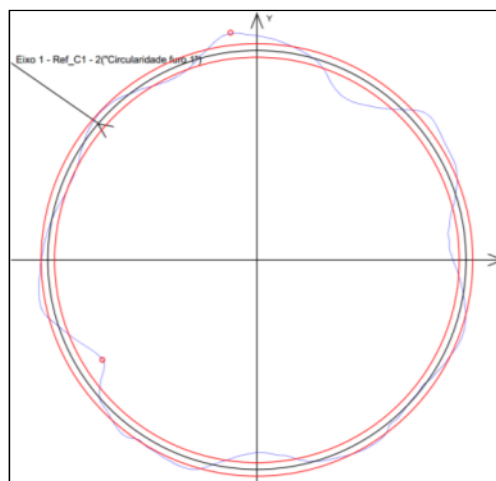


Figura 5 - Gráfico obtido da medição da circularidade do furo 1 experimento 8, Fonte: o autor

RunOrder	FLUIDO DE CORTE	Vc (m/min)	F (mm/min)	C	D
1	SEM	SEM	1263	0,0353	67,0126
2	SEM	SEM	1579	0,0082	67,0178
3	SEM	SEM	1263	0,0327	67,0142
4	SEM	SEM	1579	0,0055	67,0176
5	SEM	SEM	1579	0,0045	67,0173
6	SEM	SEM	1263	0,0297	67,0146
7	SEM	SEM	1263	0,0329	67,0143
8	SEM	SEM	1579	0,009	67,0174
9	COM	COM	1579	0,0047	67,0166
10	COM	COM	1579	0,0043	67,0153
11	COM	COM	1263	0,0242	67,0143
12	COM	COM	1263	0,0359	67,012
13	COM	COM	1579	0,0051	67,0153
14	COM	COM	1579	0,0045	67,0169
15	COM	COM	1263	0,0356	67,0151
16	COM	COM	1263	0,0322	67,0145

Fonte: o autor

Tabela 2 – Resultado das medições dos experimentos

A tabelas 3 e 4 mostram a análise de variância para circularidade e diâmetro, respectivamente. Percebe-se um comportamento similar para ambos, sendo a velocidade de corte o principal fator de influência, seguido do avanço somente para circularidade, o que pode ser comprovado pelos gráficos da figura 6 que mostram os Paretos das influencias dos fatores, bem como a distribuição dos resíduos. O fator fluido de corte reflete a influência da usinagem com e sem fluido, como mostram os gráficos da figura 7, principais efeitos e interações entre os fatores.

SOURCE	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Fluido	1	0,000008	0,000008	1,27	0,376
WP Error	2	0,000013	0,000006	1,34	0,330
Vc	1	0,002828	0,002828	604,75	0,000
F	1	0,000050	0,000050	10,71	0,017
Fluido*Vc	1	0,000002	0,000002	0,47	0,521
Fluido*F	1	0,000000	0,000000	0,07	0,799
Vc*F	1	0,000011	0,000011	2,44	0,170
Fluido*Vc*F	1	0,000017	0,000017	3,55	0,108
SP Error	6	0,000028	0,000005		
Total	15				

Fonte: o autor

Tabela 3 – Análise de variância para a circularidade em função das variáveis *Fluido*, V_C e *F*

SOURCE	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Fluido	1	0,000002	0,000002	2,25	0,272
WP Error	2	0,000002	0,000001	1,20	0,364
Vc	1	0,000032	0,000032	41,15	0,001
F	1	0,000002	0,000002	3,10	0,129
Fluido*Vc	1	0,000002	0,000002	3,10	0,129
Fluido*F	1	0,000001	0,000001	0,73	0,427
Vc*F	1	0,000000	0,000000	0,08	0,786
Fluido*Vc*F	1	0,000001	0,000001	0,93	0,372
SP Error	6	0,000005	0,000001		
Total	15				

Fonte: o autor

Tabela 4 – Análise de variância para o diâmetro em função das variáveis *Fluido*, V_C e *F*

A influência da usinagem com ou sem fluido de corte exerce pouca influência tanto como efeito principal quanto nas interações. Isso é comprovado pela baixa inclinação das retas e da variação nos valores da circularidade e do diâmetro, figura 7. Mesmo sendo pequena a influencia do fator *fluido*, a usinagem à seco provoca maior variação no diâmetro em relação à circularidade. Assim, a usinagem a seco poderia substituir a usinagem com fluido sem perda de desempenho qualitativo, considerando as variáveis analisadas. Isso se confirma também na influencia da combinação dos fatores *Fluido* x V_C e *Fluido* x *F*, figura 7 b e d respectivamente. A pequena diferença na inclinação das retas é um indício da baixa influencia da combinação destes fatores. O avanço também exerce pouca influência na circularidade e no diâmetro.

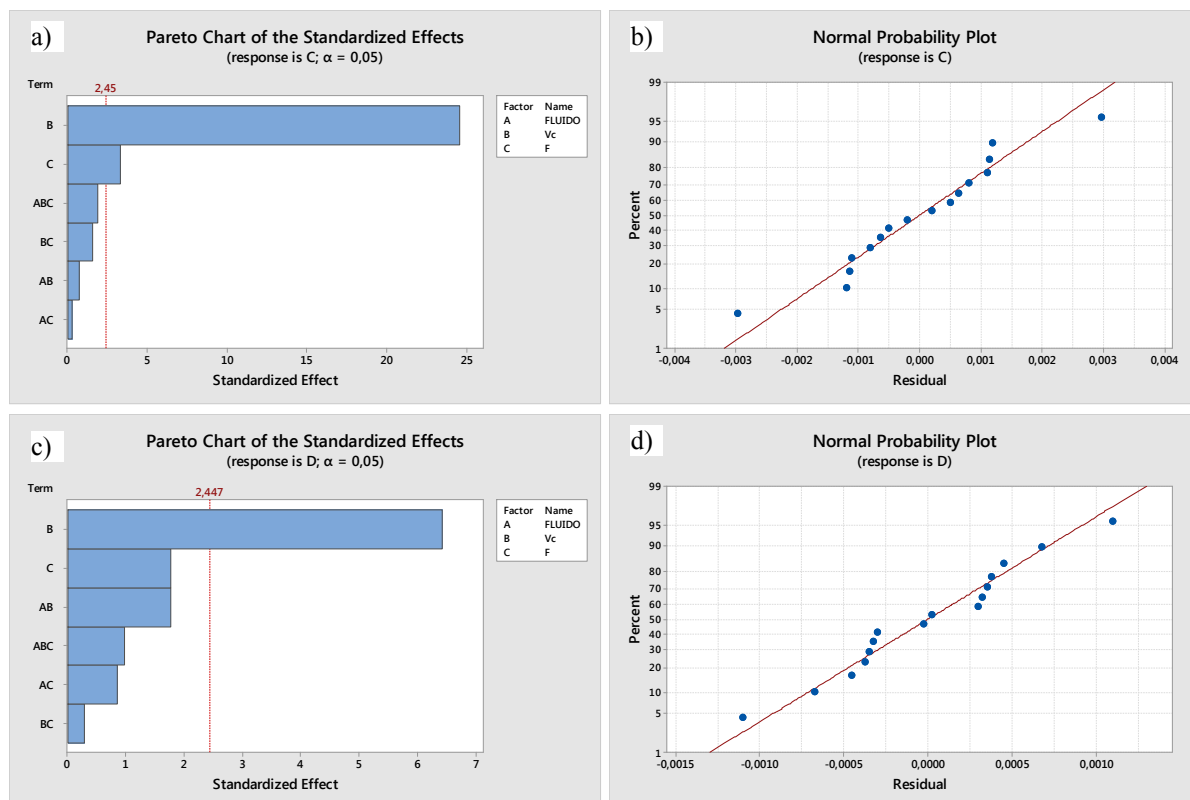


Figura 6 - Gráficos de pareto e distribuição dos resíduos para circularidade e diâmetro a) pareto circularidade, b) distribuição dos resíduos circularidade, c) pareto diâmetro e d) distribuição dos resíduos diâmetro. Fonte: o autor

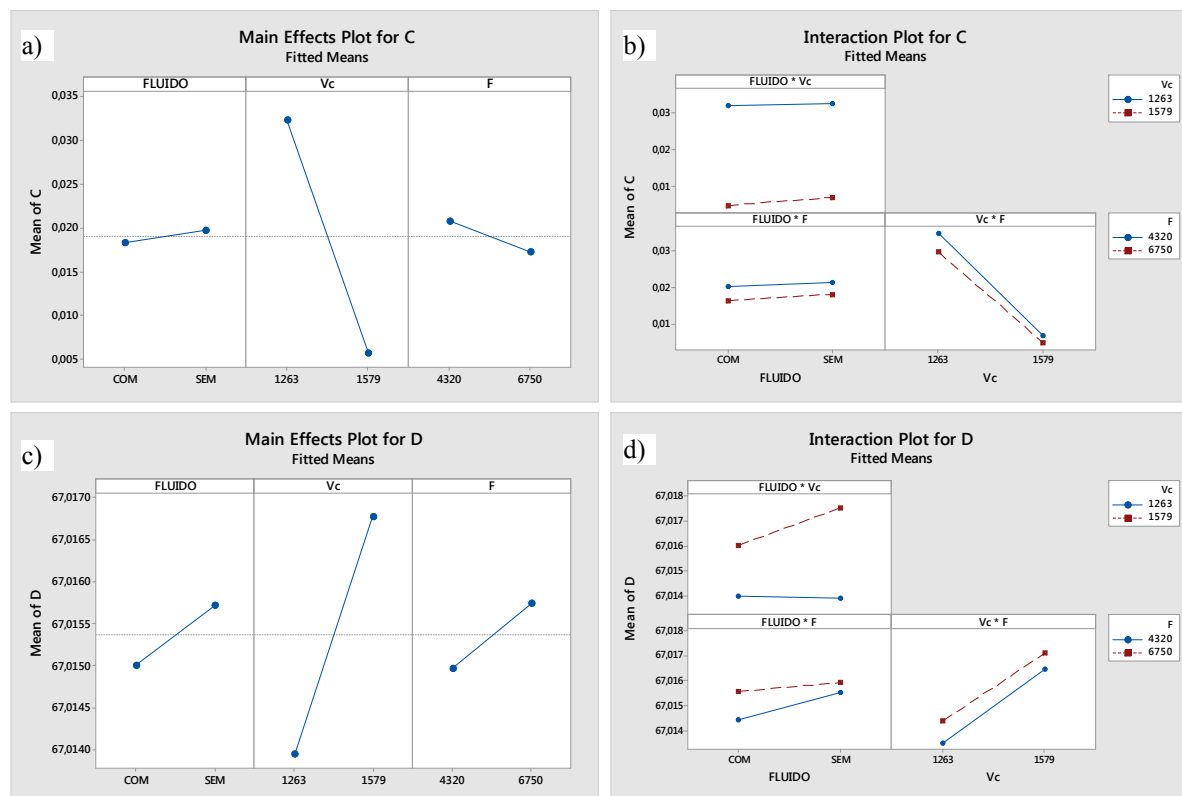


Figura 7 - Gráficos dos principais efeitos e interações a) e b) circularidade; c) e d) diâmetro. Fonte: o autor

As figura 8 a) e b) mostram, respectivamente, o comportamento da circularidade e do diâmetro. Considerando a tolerância de fabricação do diâmetro (+0,03mm), todos os valores se mantiveram em torno da média, 67,015mm, o que reforça o bom desempenho da usinagem a seco. Já a circularidade alcançou valores acima do esperado, uma vez que a tolerância admitida seria de 50% da tolerância do diâmetro, ou seja 0,015mm. Assim, a fim de verificar quais fatores produziram peças dentro das tolerâncias estabelecidas, a função *Response Optimizer* do Minitab17 foi utilizada com a seguinte parametrização: circularidade: máximo de 0,015mm; diâmetro: valor alvo de 67,0178mm (máximo encontrado entre as amostras). Os gráficos da figura 9 a) e b) mostram os valores otimizados para usinagem com e sem fluido, respectivamente. Os valores otimizados dos parâmetros de corte permitem alcançar os valores de referência para circularidade e diâmetros em ambas as opções de fluido, porém, a usinagem à seco permitiria a utilização de maiores avanços, e consequentemente menor tempo de usinagem. Considerando os avanços otimizados, 4981 mm/min para usinagem com fluido e 6154 mm/min para usinagem a seco, o tempo de usinagem reduziria 19%.

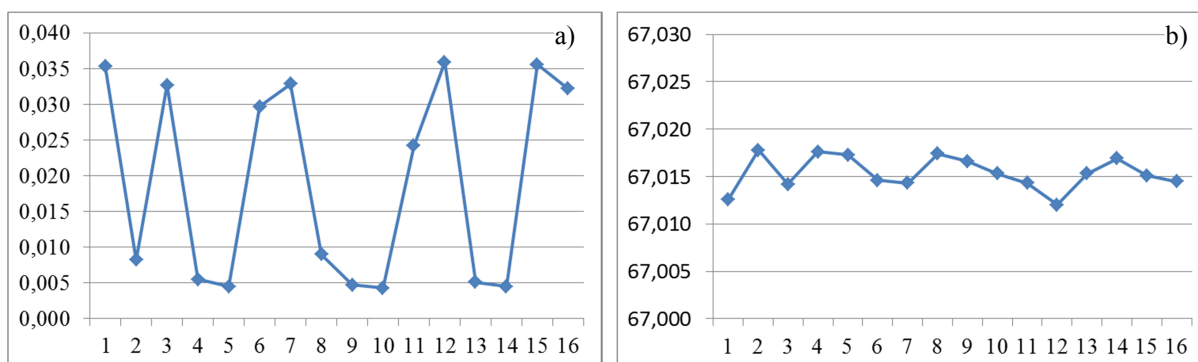


Figura 8 - Comportamento da circularidade a) e diâmetro b). Fonte: o autor

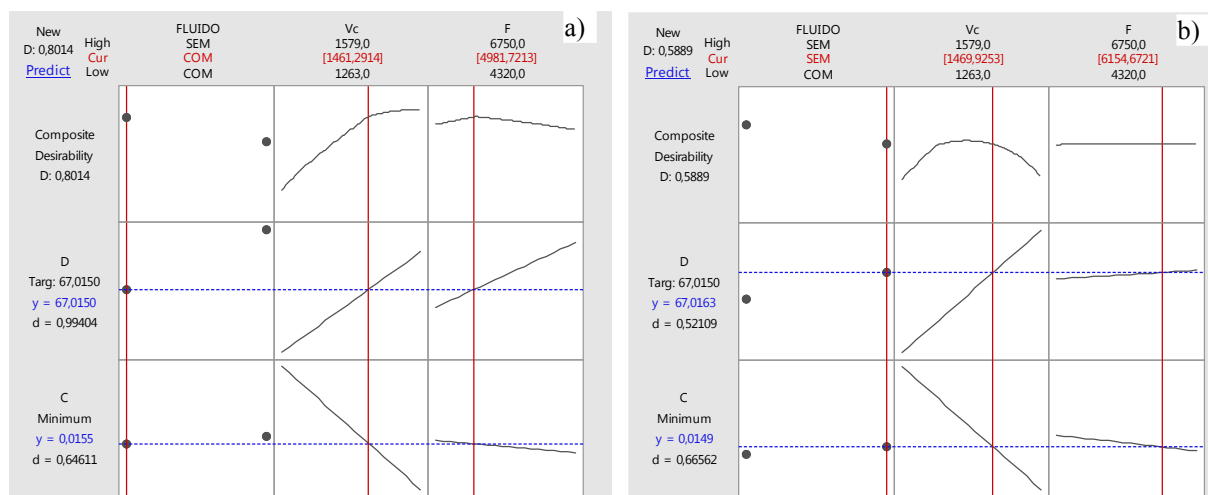


Figura 9 - Otimização dos parâmetros de corte para obtenção dos valores de referência de circularidade e diâmetros, a) com fluido de corte, b) sem fluido de corte. Fonte: o autor

4. Conclusão

DOE (Design Of Experiments) foi utilizado para planejamento e análise do desempenho da usinagem a seco na operação de mandrilhamento de furo sede rolamento, cujas características de saída adotadas foram circularidade e diâmetro. Assim, com base nos resultados conclui-se que:

A velocidade de corte é o principal fator de influência, sendo esta bastante significativa, tanto para a circularidade quanto para o diâmetro, porém de forma inversa, ou seja, o aumento da velocidade de corte provoca aumento do diâmetro e redução da circularidade.

De modo geral o avanço exerce pouca influência, porém é mais significativa para o diâmetro na usinagem com fluido de corte.

A usinagem a seco apresentou bom desempenho, uma vez que os resultados se mantiveram com a mesma tendência, comparativamente à usinagem com fluido. Possivelmente, o pequeno tempo de corte, 0,17s para avanço de 4320 mm/min e 0,10s para avanço de 6750 mm/min, impediu a interferência do calor gerado na zona de corte. Desta forma, a usinagem a seco poderia substituir a usinagem com fluido, considerando os parâmetros analisados.

Referências

- WANG YONGGUO & XILIA NG CUI & HUI XU & KEREN JIANG.** *Cutting force analysis in reaming of ZL102 aluminium cast alloys by PCD reamer.* Int. J. Adv. Manuf. Technol. 67:1509–1516, 2013.
- SREEJITH P.S., NGOI B.K.A.** *Dry machining: Machining of the future.* Journal of Materials Processing Technology 101 287±291, 2000.
- BHATTACHARYYA ONIK, KAPOOR SHIV G., DEVOR RICHARD E.** *Mechanistic model for the reaming process with emphasis on process faults.* International Journal of Machine Tools & Manufacture 46, 836–846, 2006.
- WEINERT K., INASAKI I., SUTHERLAND J. W., WAKABAYASHI T.** *Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication.* CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 53, Issue 2, 2004, Pages 511-537
- TAI BRUCE L., DAVID A. STEPHENSONB, RICHARD J. FURNESSB, ALBERT J. SHIHA.** *Minimum Quantity Lubrication (MQL) in Automotive Powertrain Machining.* 6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC, 2014.
- DHAR N.R., ISLAM M.W., ISLAM S., MITHU M.A.H.** *The influence of minimum quantity of lubrication (MQL) on cutting temperature, chip and dimensional accuracy in turning AISI-1040 steel.* Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 93–99.
- COZ G. LE, MARINESCU M., DEVILLEZ A., DUDZINSKI D., VELNOM L.** *Measuring temperature of rotating cutting tools : Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys.* Applied Thermal Engineering 36 (2012) 434 e 441.
- BEZERRA A. A., MACHADO A.R., SOUZA A.M. JR., EZUGWU E.O.** *Effects of machining parameters when reaming aluminium—silicon (SAE 322) alloy.* Journal of Material Processing technology 112 (2001)185-198.
- SARIKAYA MURAT, GÜLLÜ ABDULKADIR.** *Taguchi design and response surface method ology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL.* Journal of Cleaner Production 65 (2014) 604 e 616.