

ESTUDO COMPARATIVO DA QUALIDADE DE FUROS OBTIDOS POR FRESAMENTO HELICOICAL E BROCA COM INSERTOS INTERCAMBIÁVEIS

Fabiano dos Santos Correa, fabianodsc@fem.unicamp.br¹

Anselmo Eduardo Diniz, anselmo@fem.unicamp.br¹

Aristides Magri, arimagri@fem.unicamp.br¹

Daniel Iwao Suyama, disuyama@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, Laboratório de Usinagem dos Materiais, Departamento de Engenharia de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleiev 200, CEP: 13083-970, Campinas, SP, Brasil

Resumo: O processo de furação com brocas é largamente usado na indústria metal mecânica. Entre seus desafios tem que melhorar a qualidade dos furos, que geralmente está entre IT9 e IT11. Habitualmente, quando há necessidade de melhor a qualidade, faz-se necessária a utilização de outros processos, como o uso de alargadores. No entanto, graças às máquinas CNC este cenário vem mudando por meio do fresamento helicoidal interpolado (FHI), no qual o furo é feito por fresamento. Este trabalho avaliou a qualidade dos furos de 30 mm de diâmetro obtidos por brocas com insertos intercambiáveis e por FHI. O material utilizado foi o aço ABNT 1045. Os testes foram realizados em um centro de usinagem com fixação capto®. Os parâmetros de corte foram avanço (f) e velocidade de corte (v_c), porém, por se tratarem de operações diferentes, foram selecionadas condições adequadas a cada um deles. Desse modo, o avanço no fresamento foram 1 e 2 mm/volta além de 0,08 e 0,15 mm/dente e para a broca 0,047, 0,100 e 0,150 mm/volta. As velocidades de corte para o fresamento foram 350 e 385 m/min e para a broca 120 e 180 m/min. Foram analisadas a rugosidade superficial, tempo dos processos, desvios de circularidade e cilindridade. Constatou-se que o avanço (f_z) da fresa e as velocidades de corte, fresa e broca, não tiveram influências significativas na rugosidade e cilindridade. No entanto, a circularidade, quanto maior o f_z , maior foi seu desvio. Além disso, o FHI proporciona um aumento significativo na qualidade do furo, ganhos acima de 100%, ainda que se mostre uma operação lenta e de baixa produtividade. Por fim, com relação ao dimensional, a broca gerou furos cerca de 200 μ m acima da dimensão nominal. Estas dimensões podem ser corrigidas no FHI e não podem ser alteradas nos furos obtidos por broca.

Palavras-chave: fresamento, brocas, circularidade, cilindridade e rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

Furos são elementos muito comuns e importantes “features” em peças mecânicas. Empregados em várias peças e produtos que desempenham importantes funções como: condutores de fluidos, alojamento de rolamentos, interiores de roscas, acoplamento de eixos, buchas, fixação etc. Nas indústrias metal-mecânica têm-se várias opções para realizá-los, dependendo das formas e condições em que eles se encontram nas peças. De acordo com Pangrácio, 2003, os processos tradicionais têm-se a furação e o fresamento, processos de usinagem realizados por remoção de material com geração de cavaco, e muitas vezes necessitam de um processo posterior para atingir o acabamento dimensional e superficial desejado no furo. Este processo posterior pode ser o mandrilamento, o brunimento, a retificação interna, o alargamento ou até mesmo o brochamento.

O presente trabalho tem por objetivo principal realizar um estudo de avaliação e comparação das qualidades dos furos obtidos pelo processo de furação com brocas de insertos intercambiáveis e a furação feita pelo fresamento helicoidal interpolado (FHI). Para tal estudo, os parâmetros analisados foram a rugosidade (R_a), circularidade, cilindridade e tempo de operação dos processos utilizados neste trabalho para realização dos furos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quando na fabricação dos furos a usinagem convencional é utilizada, a primeira recomendação é a usinagem com utilização de brocas. No entanto, se o furo for maior que as brocas disponíveis ou o diâmetro do furo for intermediário à medida das brocas standard, o fresamento será o método de produção mais econômico, principalmente quando o tamanho do lote de produção for pequeno e não seriado. Dessa forma, pode-se evitar a necessidade de uma ferramenta especial, que normalmente eleva os custos com ferramentas (CAVICHIOILLI, 2014).

A Interpolação Helicoidal, de acordo com Cavichioli, 2014, é um método com progressão lógica da interpolação circular em que a fresa se movimenta em três dimensões, progredindo para a profundidade do furo enquanto também

realiza o movimento da interpolação circular, ilustrado na Figura 1. A fresa, utilizada para interpolação helicoidal, deve ter capacidade de usinagem em rampa, se a intenção for a furação.

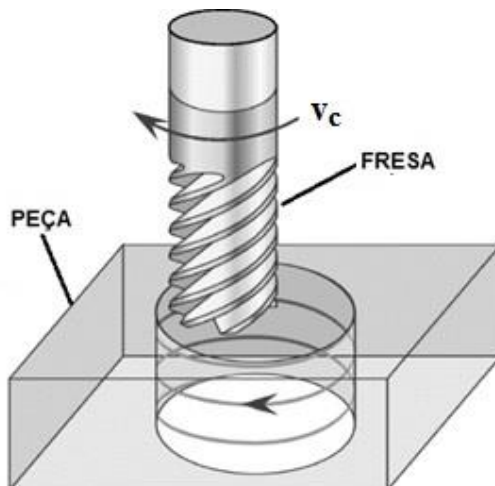


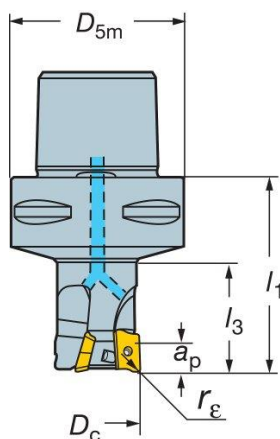
Figura 1 - Furação por fresamento em interpolação helicoidal, (IYER 2007)

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Nos tópicos abaixo estão descritos os procedimentos utilizados para realização da usinagem de furos e procedimentos de estudos para comparação do processo de fresamento helicoidal e furação com broca com insertos intercambiáveis.

3.1 - Ferramentas de corte utilizadas nos ensaios

A ferramenta para execução do fresamento helicoidal interpolado (FHI) foi fornecida pela fabricante de ferramentas Sandvik Coromant. Tal ferramenta possui a seguinte descrição: fresa de Ø 20 mm C4 390 - 020C4 - 11L, sua imagem pode ser observada na Figura 2. Ela possui passo largo com 3 dentes. A medida do máximo a_p é de 10 mm, I_3 de 25 mm e I_1 de 50 mm. A ferramenta possui sistema de refrigeração interna por alta pressão.



(a)



(b)

Figura 2 - Fresa usada no fresamento helicoidal (a) desenho da ferramenta (b) Imagem ilustrativa da ferramenta de corte

Os insertos utilizados nesta fresa foram de descrição MPM-11, de classe média e suas medidas podem ser observadas na Figura 3. A denominação dos insertos, de acordo com seu fabricante, é R390-11 T3 08M-PM. As medidas são: b_s de 1,2 mm e r_e de 0,8 mm. Após a realização de 3 furos, primeiro furo, réplica e tréplica, em qualquer condição ensaiada, trocou-se a aresta de corte do inserto.

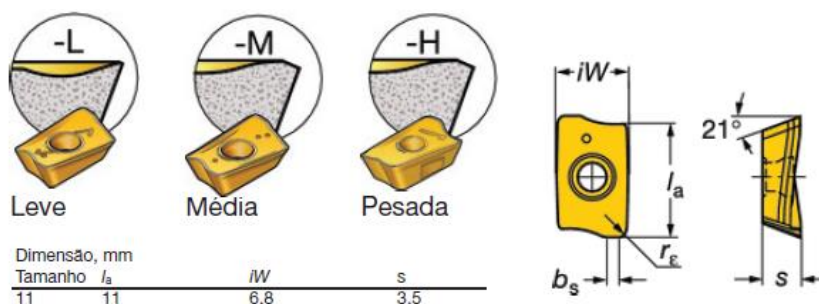


Figura 3 - Dados técnicos dos inserts utilizados no fresamento helicoidal interpolado (FHI)

A ferramenta utilizada para execução dos furos foi uma broca com inserts intercambiáveis, fabricada pela Sandvik Coromant. Esta possui a seguinte descrição: broca de Ø 30 mm 3xD C4 880D300C4-03. A imagem esquemática desta ferramenta pode ser vista na Figura 4.

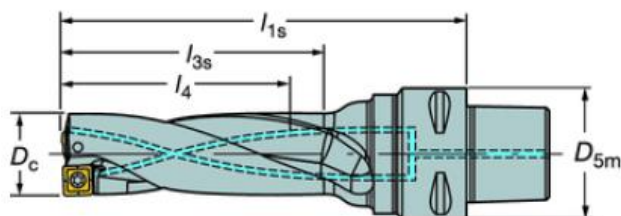
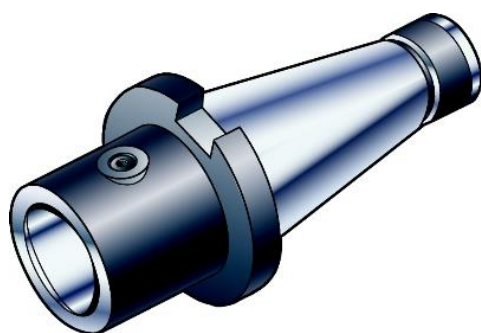


Figura 4 - Ilustração da broca de inserts intercambiáveis

3.2 - Fixação das ferramentas de corte no centro de usinagem Mori Seike SV-40

O centro de usinagem utilizado é de marca Mori Seike, modelo SV-40 com rotação máxima de 12000 e 22,4 kW de potência. Para a fixação das ferramentas e melhor comparação dos métodos, furação por fresa e broca, optou-se em fixar as ferramentas na máquina pelo método capto, Coromant Capto®. Conceito de ferramenta modular de troca rápida desenvolvida pela Sandvik. Por este conceito, as mesmas ferramentas podem ser usadas em toda a fábrica, proporcionando flexibilidade única, rigidez otimizada e estoque de ferramentas reduzido. Os benefícios encontrados neste tipo de fixação de ferramentas estão descritos na Figura 5.



(a)

- Flexível com modularidade ampliada;
- Alta precisão e estabilidade básicas;
- Estoque de ferramentas minimizado;
- Tempo de set-up reduzido.

(b)

Figura 5 - Sistema de fixação conhecido como Capto®, desenvolvido pela Sandvik
(a) cone capto (b) características do sistema de fixação

3.3 - Preparação do corpo de prova

Utilizou-se, como corpo de prova, para a fabricação dos furos um bloco de aço ABNT 1045. Sua composição química pode ser observada na Tabela 1. Este aço foi escolhido por ser um material muito utilizado na construção de moldes e matrizes para injeção e conformação, o qual é geralmente empregado nas placas bases ou até mesmo nas cavidades, de acordo com Pangrácio, 2003. Nesse caso, essas placas recebem furos passantes que funcionam como guias ou alojamentos para as colunas do molde ou da matriz.

Tabela 1 - Composição química do aço ABNT 1045, COSIPA

Elemento	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr	Ni	N	Ti	Nb	V	B	Ca
%	0,43	0,68	0,16	0,07	0,22	0,26	0,01	0,02	0,01	0,51	0,01	0,01	0,02	0,01	0,16

Para melhor aproveitamento do material usou-se a fixação por morsa. Um calço foi colocado em lugares onde, quando o furo varasse a ferramenta, não tocasse o mesmo. As medidas do corpo de prova são 300x250x25 mm. O material foi usinado em uma fresadora ferramenteira para as medidas especificadas. Depois do corpo fresado nas medidas adequadas, foram retificadas as faces para obter-se maior precisão no paralelismo. Os furos foram executados no corpo de prova com 30 mm de diâmetro, feitos pelo fresamento helicoidal interpolado e pela furação com a broca de insertos intercambiáveis. Depois de preparado o corpo de prova, a próxima etapa foi especificar os parâmetros de corte utilizados na fresa e na broca. A disposição e quantidades de furos podem ser observadas na Figura 6a. Para cada condição proposta fez-se uma réplica e tréplica para garantir a veracidade nas medições e nas condições propostas.

Os parâmetros de corte para o fresamento helicoidal interpolado (FHI) de acordo com o fabricante das ferramentas de corte são v_c na faixa de 315 a 385 m/min. O f_z na faixa de 0,08 a 0,15 mm/dente e o f_{az} de no máximo de 2 mm/volta. Para a broca de insertos intercambiáveis, os parâmetros de corte recomendados de acordo com seu fabricante é a v_c de 120 a 180 m/min e avanço de 0,08 a 0,22 mm/volta. Nos testes preliminares, o avanço de 0,22 mm/volta exigiu muito da máquina ferramenta. Deste modo, o máximo avanço adotado neste caso foi de 0,15 mm/volta. Os parâmetros utilizados para a furação com a broca de insertos intercambiáveis podem ser vistos na Figura 6b.

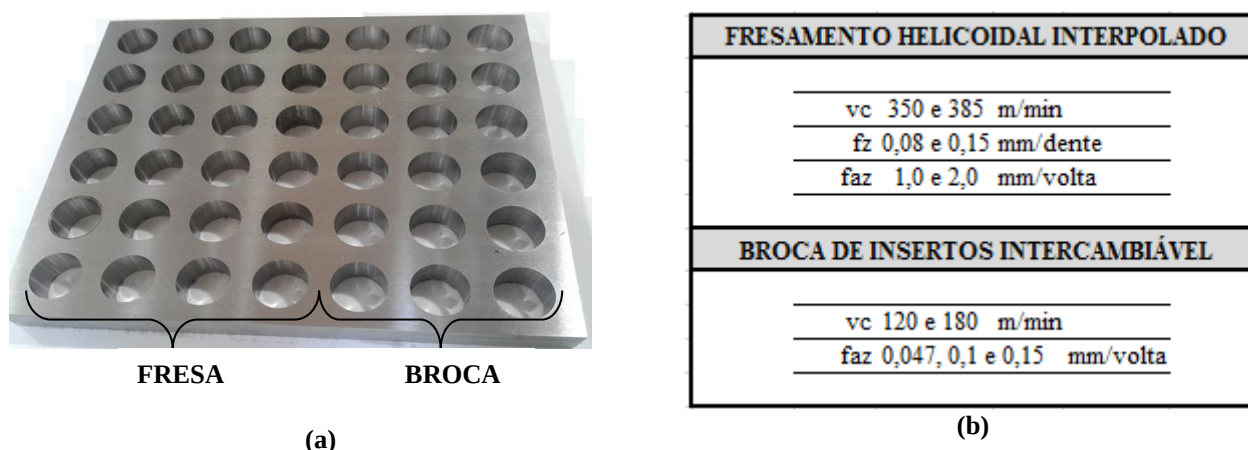


Figura 6 - Condições de usinagem (a) Disposição dos furos com 8 condições para o fresamento e 6 condições para broca (b) Parâmetros de corte utilizados

3.4 - Medições da rugosidade, circularidade e cilindridade

Para a medição da rugosidade (R_a) foi utilizado um rugosímetro marca Mitutoyo, Modelo SJ-201P, Versão do comunicador 3.1. Foram medidos três pontos em cada furo, rotacionando o corpo de prova, primeiro furo, réplica e tréplica e depois tirada a média destas medições. A medição da circularidade e cilindridade foi feita em uma tridimensional, marca Mitutoyo, uma CNC CRYSTA, Apex S500/700/900.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Resultados da rugosidade (R_a)

Para as rugosidades medidas, depois de calculada a média dos três pontos, médias do primeiro furo, da réplica e tréplica elaborou-se um gráfico. Além da média foi feito o desvio padrão para observar a dispersão das medições. Na observação do gráfico da Figura 7 pode-se notar que o parâmetro de corte que mais influência na rugosidade média (R_a) é o avanço axial (f_{az}). Quanto maior este avanço, maior é a rugosidade obtida, fato observado em todas as condições ensaiadas.

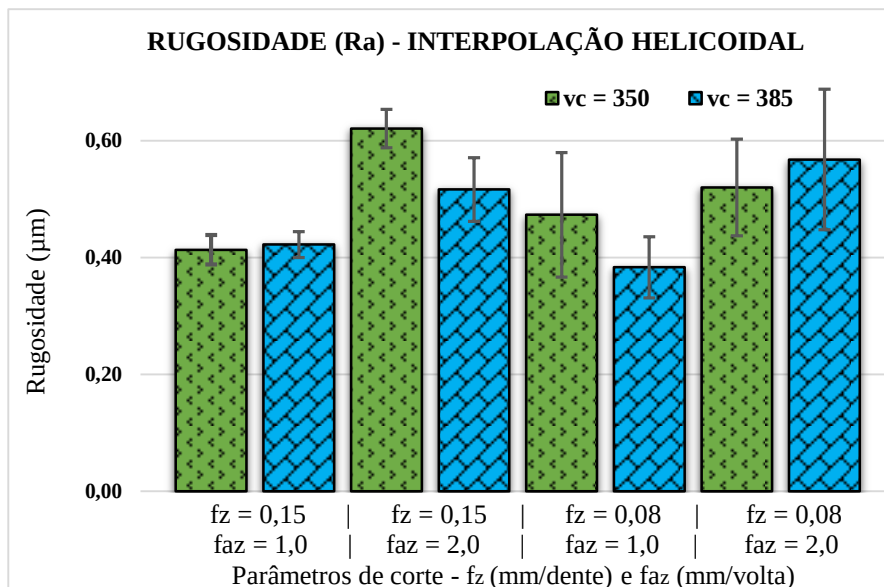


Figura 7 - Rugosidade média (Ra) do fresamento helicoidal interpolado (FHI)

Quando se analisa a velocidade de corte (v_c), ora a rugosidade aumenta com o aumento da velocidade de corte, ora a rugosidade diminui. Desta forma, não se pode chegar a nenhuma relação de influência com a rugosidade. Outro parâmetro de corte em que não se constatou correlação com a rugosidade, foi o avanço (f_z). Dentre todas as condições testadas, a condição com $v_c = 385$ m/min $f_z = 0,08$ mm/dente e $f_{az} = 1,0$ mm/volta obteve a melhor rugosidade, menor valor de rugosidade com $0,38 \mu\text{m}$. Observou-se que o aumento do avanço (f_{az}) age diretamente na rugosidade obtida.

Esta análise da correlação foi feita para os furos obtidos com a broca de insertos intercambiáveis. A Figura 8, ilustra os valores das rugosidades obtidas das superfícies dos furos feita por esta ferramenta. Nota-se que a condição de corte que resultou em melhor rugosidade superficial é a com v_c de 120 m/min e avanço de $0,047$ mm/volta. O menor avanço especificado pelo fabricante para esta ferramenta é de $0,08$ mm/volta. No entanto, utilizou-se um avanço menor para que o tempo desta furação se equivalesse ao tempo da interpolação helicoidal e assim pudesse comparar o dimensional e a qualidade dos furos, com tempos iguais de operação.

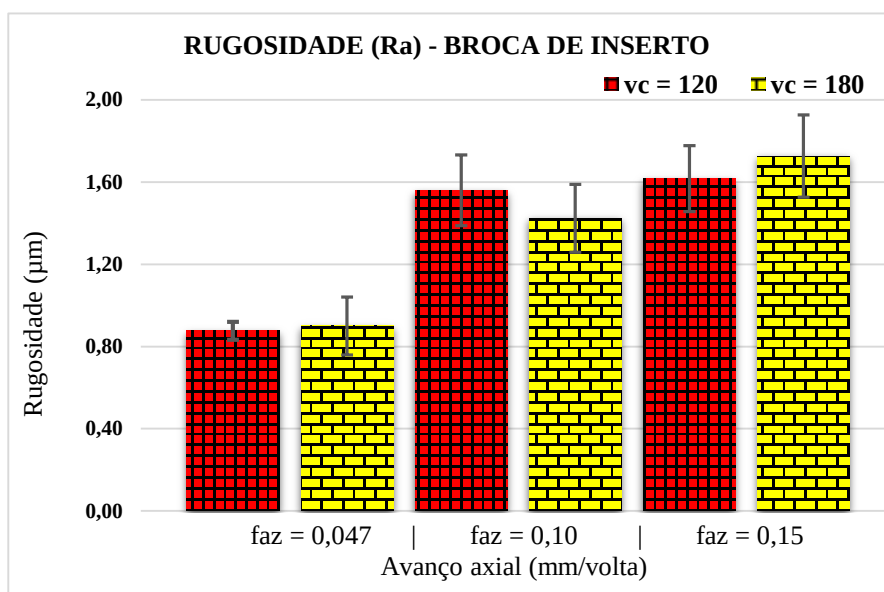


Figura 8 - Rugosidade média (Ra) da furação com broca de insertos intercambiáveis

4.2 - Resultados da circularidade

Para as circularidades medidas, depois de referenciada a face da peça com três pontos, mediu-se com 8 pontos cerca de 10 mm para dentro do furo. Com a média dos três furos (primeiro furo, réplica e tréplica) elaborou-se um gráfico que pode ser visualizado na Figura 9. O desvio padrão, observado no gráfico foi obtido dos valores de medições destes três furos.

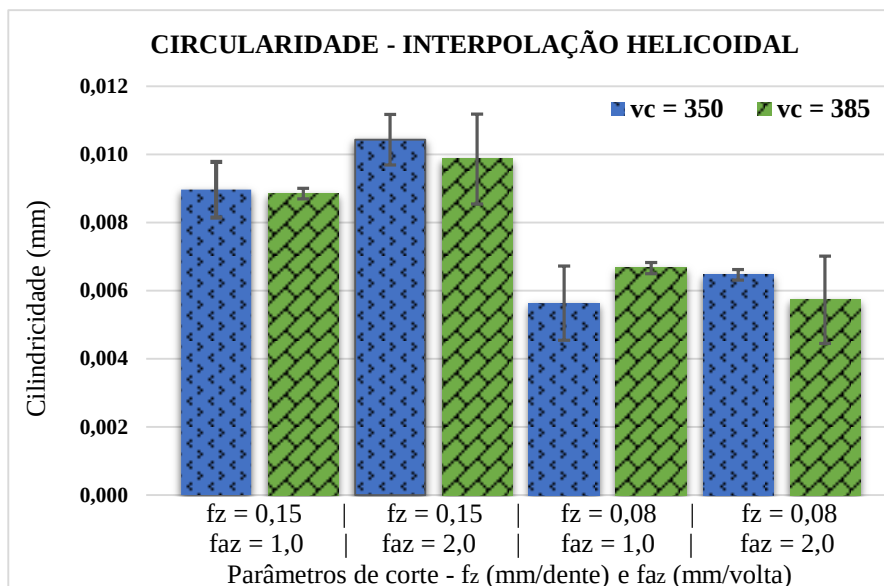


Figura 9 - Circularidade dos furos feitos por fresamento helicoidal interpolado (FHI)

O f_z foi o parâmetro de corte que teve maior influência na circularidade. Observou-se que quanto menor o avanço por dente da fresa menor foi o erro de circularidade, como ilustrado pela Figura 9. No entanto o avanço axial (f_{az}) executado não constatou influência notória na circularidade, o mesmo se aplica para a velocidade de corte (v_c).

Nas operações de furação com a broca de insertos intercambiáveis, o parâmetro velocidade de corte (v_c) não foi constatado influência clara no erro de circularidade. No entanto o avanço axial (f_{az}), dá o indício de uma influência de quanto maior o avanço, maior o erro de circularidade. Esta tendência pode ser observada pela Figura 10.

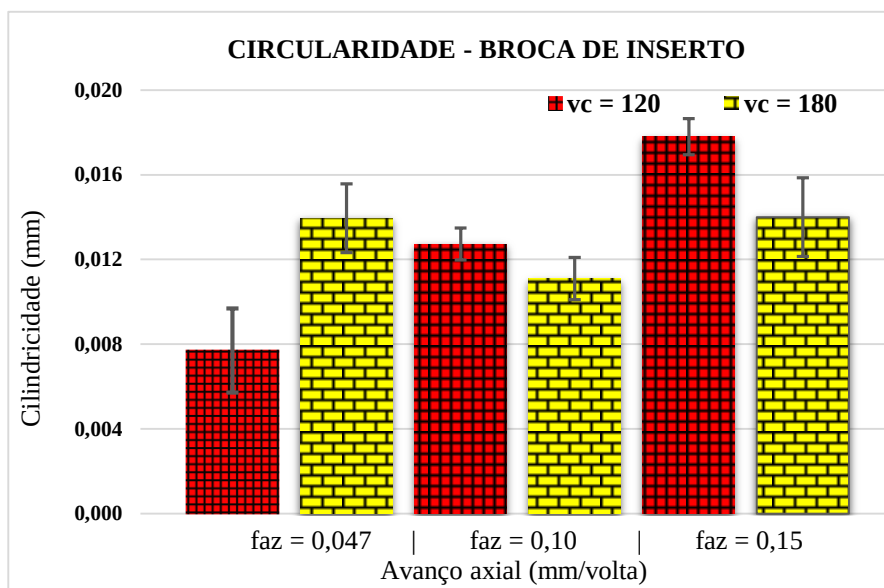


Figura 10 - Circularidade dos furos feitos com broca de insertos intercambiáveis

4.3 - Resultados da cilindridade

Para os erros de cilindridade, referenciou-se o plano da peça com três pontos. As medições foram feitas com três pontos distantes a 8 mm da face do furo, depois mais três pontos distante a 10 mm desta última medição. Com estas medidas foi calculada a média dos três furos (primeiro furo, réplica e tréplica). Este resultado pode ser observado na Figura 11.

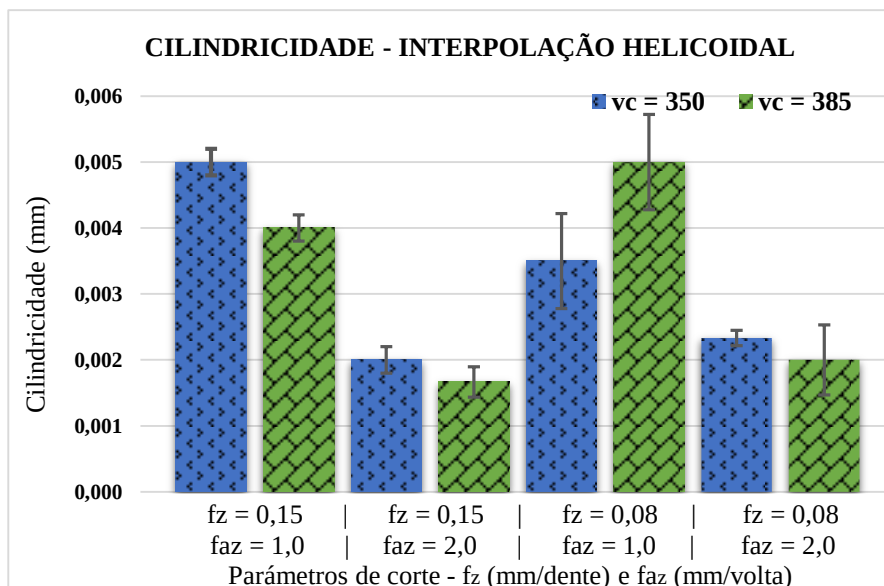


Figura 11 - Cilindridade dos furos feitos por fresamento helicoidal interpolado (FHI)

Na cilindridade dos furos obtidos por fresamento, observou-se que o parâmetro de corte que mostrou maior influência na qualidade do furo foi o avanço axial (f_z), de forma inversamente proporcional, em que, quanto maior o avanço axial, menor o erro de cilindridade. Quanto a velocidade de corte e o avanço por dente da fresa não teve correlação direta ou indireta observada.

Para a cilindridade dos furos feitos por broca, o avanço axial (f_z) foi o parâmetro de corte que teve a maior contribuição na variação da qualidade do furo. No entanto, neste tipo de operação o avanço está relacionado de forma diretamente proporcional, quanto maior o avanço, maior o erro de cilindridade. Estes valores de cilindridade e relação de influência dos parâmetros de corte podem ser observados pela Figura 12.

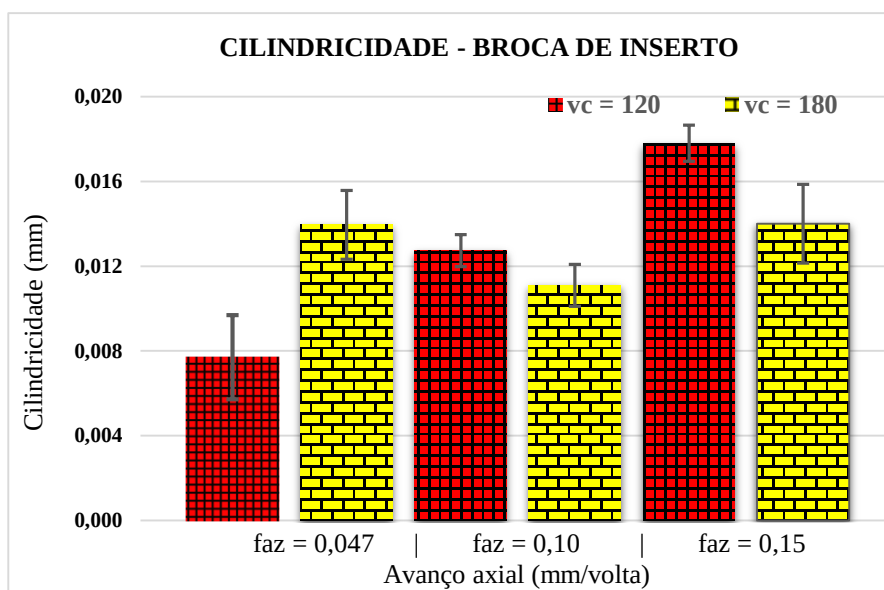


Figura 12 - Cilindridade dos furos feitos com broca de insertos intercambiáveis

4.4 - Comparação dos processos: qualidade dos furos e tempo de usinagem.

Para uma análise, de forma mais geral, da qualidade de furos fabricados pelos dois tipos de operação (FHI e por Broca de Insertos Intercambiáveis) calculou-se as médias de todas as condições executadas dos furos feitos por interpolação helicoidal e com broca de insertos intercambiáveis. Esta análise, observadas nos gráficos da Figura 13, foi executada para a rugosidade, circularidade, cilindridade e dimensional.

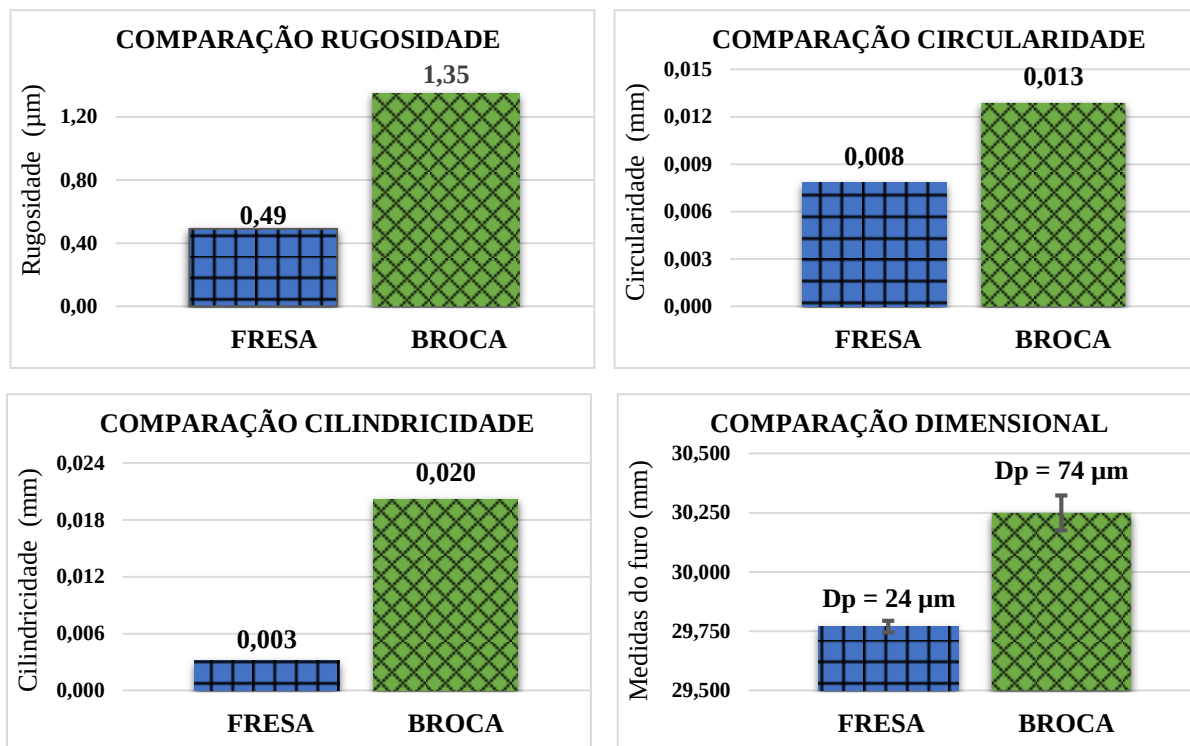


Figura 13 - Médias da rugosidade, circularidade, cilindridade e dimensional de todas as condições executadas na realização dos furos

Na análise da rugosidade média (R_a), dos furos feitos por interpolação helicoidal, observa-se valores cerca de três vezes menores que a rugosidade dos furos feitos pela broca de insertos intercambiáveis. Desta forma, faz-se da interpolação circular uma boa alternativa, quando se precisa obter melhor rugosidade dos furos.

Quanto a circularidade e cilindridade, os melhores valores foram obtidos nos furos feitos por interpolação helicoidal na grandeza de duas vezes para a circularidade e sete vezes para a cilindridade. Evidenciando a qualidade superior dos furos feitos pelo método fresamento helicoidal interpolado quando comparado aos furos feitos pela broca com insertos intercambiáveis.

Por fim, o gráfico da comparação dimensional na Figura 13, ilustra que as medidas dos furos feitos por Interpolação helicoidal foram cerca de 250 μm abaixo da medida nominal de $\varnothing 30 \text{ mm}$. No entanto, esta medida é facilmente corrigida pela programação CNC. Porém, as medidas dos furos feitos pela broca, foram cerca de 250 μm acima da medida nominal, cuja correção não há possibilidade de se fazer pela programação CNC. Devido a qualidade da superfície dos furos feitos por broca serem inferiores a qualidade dos furos por fresamento, o desvio padrão evidenciou estas diferenças, em que o valor foi de 74 μm para o furo feito pela broca e 24 μm pela fresa.

É notório, de modo geral, que o processo de obtenção de furos por interpolação helicoidal possui melhor qualidade do furo. No entanto, seu tempo de usinagem é significativamente superior ao tempo de usinagem da furação por broca, como pode ser observado no gráfico de tempo da Figura 14. No intuito de comparar a qualidade dos furos, selecionou-se duas condições de corte por fresamento e uma condição utilizando a broca, com tempos de usinagens relativamente iguais.

Ao analisar as medidas da rugosidade, circularidade e cilindridade destas condições de usinagem com tempos semelhantes, ilustrada pela Figura 14, observou-se que: a rugosidade foi menor na interpolação helicoidal. Este comportamento é semelhante na cilindridade. No entanto, a circularidade foi ligeiramente melhor para os furos realizados com broca de insertos intercambiáveis. Tal comportamento necessita de uma análise mais aprofundada para sua compreensão.

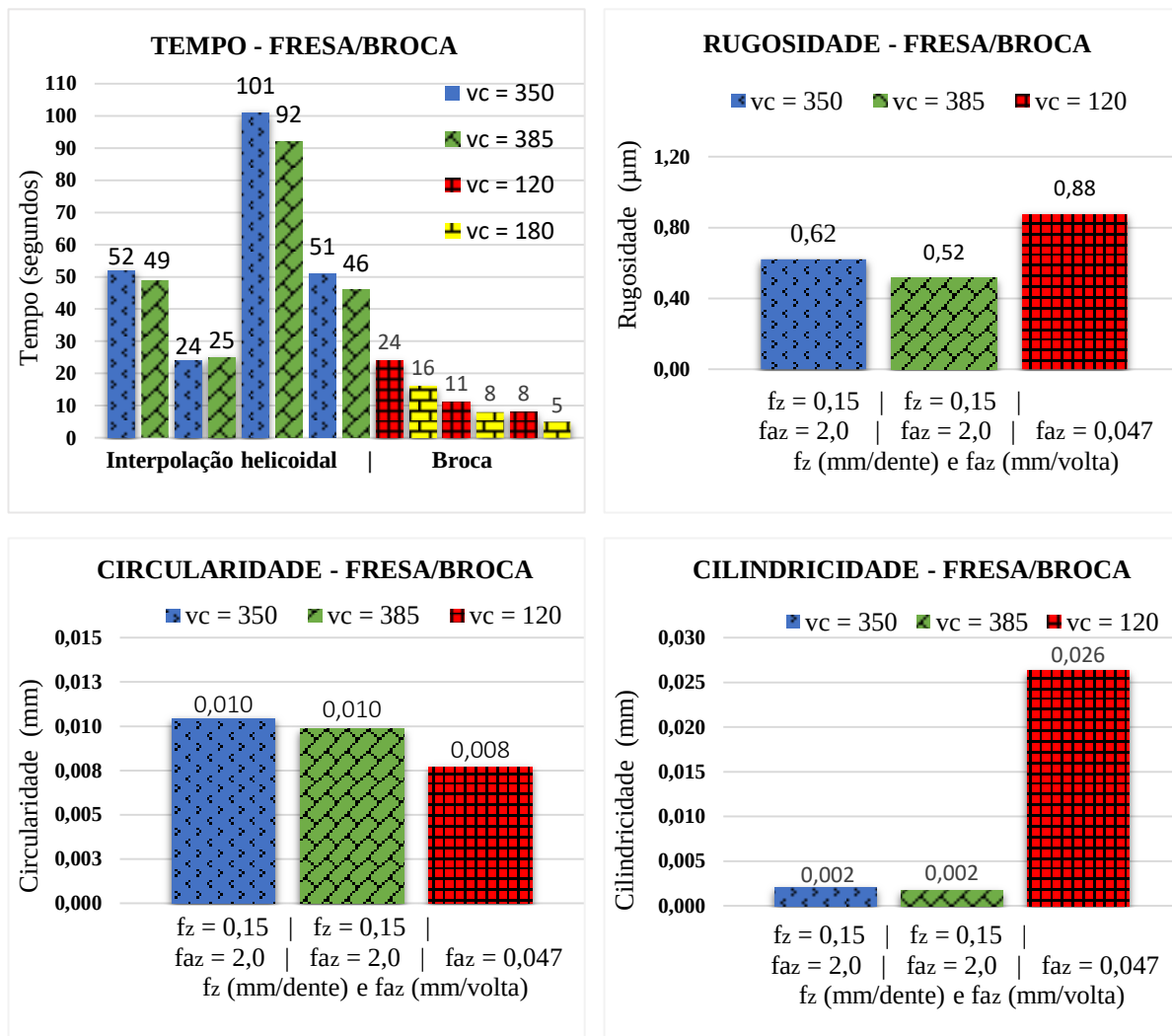


Figura 14 - Tempo, rugosidade, circularidade e cilindridade para operações com tempos de usinagens relativamente iguais

5. CONCLUSÕES

Na análise da qualidade: rugosidade, circularidade e cilindridade dos furos de Ø 30 mm, obtidos por fresamento helicoidal interpolado e por broca com insertos intercambiáveis, observou-se que a qualidade dos furos foi prejudicada com o aumento do avanço axial (f_z). Este parâmetro foi o que teve maior influência nesta qualidade. No entanto o aumento do avanço axial de 1 mm para 2 mm na interpolação helicoidal a cilindridade agiu de forma inversa, diminuindo o erro da mesma.

A velocidade de corte (v_c) foi o único parâmetro de usinagem, entre os três utilizados (v_c , f_z e f_a), que não constatou nenhuma relação de proporcionalidade na qualidade dos furos em termos de rugosidade, circularidade e cilindridade, tanto quando nos furos feitos por fresamento helicoidal interpolado, quanto nos feitos pela a broca de insertos intercambiáveis.

O fresamento helicoidal interpolado apresentou a melhor qualidade de furos dentre os parâmetros medidos: rugosidade, circularidade e cilindridade. A rugosidade destes furos possui grandeza de 3 vezes menor quando comparado aos furos feitos com broca. A circularidade 2 vezes. E a cilindridade na ordem de 7 vezes menor.

De acordo com Pangrácio, 2003, a qualidade dos furos tem sua maior influência pelo avanço axial (f_a), que por sua vez tem grande contribuição no tempo de usinagem, comparou-se tempo de usinagem equivalentes nos dois tipos de operações. Nesta comparação, a rugosidade e cilindridade foram melhores no fresamento. No entanto, a circularidade foi ligeiramente melhor nos furos feitos com broca de insertos intercambiáveis.

Nos furos feitos por fresamento helicoidal interpolado o avanço por dente (f_z) não foi encontrado influência significativa na rugosidade e cilindridade. No entanto, foi verificado influência na circularidade em que, quanto menor o f_z , menor foi o erro de circularidade.

Os tempos despendidos na operação com a broca de insertos intercambiáveis são muito inferiores quando comparados com o fresamento helicoidal interpolado. Desta forma, evidencia que a furação com broca pode ser escolhida quando se deseja realizar furos em tempos menores.

Por outro lado, pode-se concluir que fresamento helicoidal interpolado é uma opção válida para situações em que se necessita a alta diversificação nas medidas dos furos, uma vez que as medidas podem ser alteradas na programação CNC, além de apresentar boa qualidade dos furos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio e orientação recebida no grupo de Usinagem da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp e às empresas Sandvik e Sulzer pelos insumos fornecidos para a preparação dos corpos de prova e condução dos testes de usinagem.

7. REFERÊNCIAS

- COSTA, D. D. GOMES, J. O., PANGRÁCIO, M. L. Análise da qualidade de furos realizados por fresamento helicoidal interpolado. In: 3º COBEF - Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2005, Joinville SC. Anais do III Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2005.
- CAVICHIOILLI, F. Fresamento por Interpolação. 2014. PUBLICAÇÃO DA SANDVIK COROMANT DO BRASIL ISSN 1518-6091 RG BN 217-147, Revista o Mundo da Usinagem - p. 27-32, 2014.
- IYER, R.; KOSHY, P.; NG, E. Helical milling: an enabling technology for hard machining precision holes in AISI D2 tool steel. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 47, n. 2, p. 205-210, 2007.
- PANGRÁCIO, M. L. Análise da qualidade de furos realizados por fresamento helicoidal interpolado. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

COMPARATIVE STUDY OF HOLES QUALITY OBTAINED BY CIRCULAR RAMPING MILLING AND INDEXABLE INSERT DRILL

Fabiano dos Santos Correa, fabianodsc@fem.unicamp.br¹

Anselmo Eduardo Diniz, anselmo@fem.unicamp.br¹

Aristides Magri, arimagri@fem.unicamp.br¹

Daniel Iwao Suyama, disuyama@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, Laboratório de Usinagem dos Materiais, Departamento de Engenharia de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Rua Mendeleiev 200, CEP: 13083-970, Campinas, SP, Brasil

Abstract: The drilling process with drills is widely used in the metalworking industry. One of its challenges is to improve the quality of the holes which is usually between IT9 and IT11. Normally, when there is a need for better quality, it is necessary to use other processes, such as the use of reamers. However, thanks to the advances in CNC machines, this scenario has been changing through circular ramping milling (Fresamento Helicoidal Interpolado - FHI - in Portuguese). This work evaluated the quality of 30 mm diameter holes obtained with indexable inserts drills and FHI. The material used was ABNT/SAE 1045. The tests were carried out in a machining center with Sandvik's Capto © holding. The cutting parameters were feed rate (f) and cutting speed (v_c). Once these 2 processes were different, appropriate conditions were selected for each of them. Thus, the milling feed was 1 and 2 mm/rev, also 0.08 and 0.15 mm/tooth and for the drill 0.047, 0.100 and 0.150 mm/rev. The cutting speeds for milling were 350 and 385 m/min, and for the drill 120 and 180 m/min. Surface roughness, process time, circularity deviations and cylindricity were analyzed. It was observed that the feed rate (f) of the milling, and the cutting speeds for drilling and milling did not have significant influence on roughness and cylindricity. However, for the circularity, the higher the f the greater its deviation. In addition, FHI provides a significant increase in hole quality (gains over 100%), even if it shows a slow, low-productivity operation. Finally, with regard to dimensional, the drill generated holes about 200 μ m above the nominal size. These dimensions can be corrected in the FHI and cannot be altered in drill hole.

Keywords: milling, drill, roughness, circularity e cylindricity