

ANÁLISE DA PLANEZA NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DO AÇO AISI 4340 ENDURECIDO (55 HRC) UTILIZANDO FERRAMENTAS DE METAL-DURO

Lucas Danrlei Manteli, lucas_manteli@unifebe.edu.br¹

Célio Noll, celio.noll@unifebe.edu.br¹

Denis Boing, denisboing@unifebe.edu.br¹

¹Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação - CTIF, Rua Dorval Luz, 123, Brusque, SC, 88352-400.

Resumo: Desde a década de 1980 o torneamento de materiais endurecidos vem sido extensivamente pesquisado e aplicado industrialmente em operações de acabamento de componentes mecânicos em substituição ou, até mesmo, de forma híbrida com os processos de retificação. Em relação a retificação, o torneamento é um processo mais flexível, possui maior compatibilidade ambiental (devido a usinagem ser realizada isenta de meios lubrificantes), possui maior taxa de remoção de material e, inclusive, induz menor dano à camada da subsuperfície do componente usinado. No entanto, os principais fatores que remetem à confiabilidade do processo industrial, como os níveis de tensões residuais, a qualidade da superfície e a precisão de forma e dimensão, são fatores favoráveis ao processo de retificação. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estudar a tolerância geométrica de forma planeza no torneamento do aço AISI 4340 endurecido (55 HRC) utilizando ferramentas de metal-duro. Realizou-se um planejamento fatorial com três variáveis em dois níveis – condição de corte (contínuo e interrompido), classe da ferramenta de metal-duro (metal-duro de grãos ultrafinos e grãos convencionais com revestimento de grãos epitaxiais) e estratégia de usinagem (convencional e com recuo – alívio térmico). Foram utilizados parâmetros de usinagem típicos das operações de acabamento ($v_c = 150$ m/min; $f = 0,08$ mm; $a_p = 0,20$ mm) e os ensaios foram realizados com operações de faceamento (sentido radial do corpo de prova). Tal situação permitiu simular os processos industriais de acabamento de flanges. A análise estatística dos resultados para um nível de significância de $\alpha = 0,10$ demonstra que, no início da vida das ferramentas o único fator que tem influência significava sobre a planeza gerada no processo é a condição de corte. Observa-se também que o corte interrompido promoveu os piores resultados – situação que pode ser relacionada com a instabilidade gerada pelo impacto da ferramenta contra as interrupções (canais do corpo de prova). As demais condições mostraram-se estáveis e os desvios verificados se referem aos erros sistemáticos de posicionamento da máquina-ferramenta. Ao longo da vida da ferramenta, com a perda de material da ferramenta em função do desgaste, a planeza foi gradativamente aumentando. Sendo que, no final da vida da ferramenta, além da geometria da ferramenta, a estratégia de usinagem também se tornou fator de influência significativa. Situação que está diretamente relacionada pelo impacto da estratégia de usinagem no desempenho da ferramenta. De forma geral, os melhores resultados foram obtidos com a classe da ferramenta de grãos ultrafinos, no corte contínuo e utilizando a estratégia convencional de usinagem. Os resultados indicaram situações promissoras quando à confiabilidade do processo de torneamento de materiais endurecidos, especialmente para utilização do processo em ambiente industrial.

Palavras-chave: Torneamento de materiais endurecidos, planeza, confiabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Componentes mecânicos são projetados para atender funcionalidades específicas, como exemplo, um eixo de transmissão automotiva precisa resistir principalmente às solicitações de torque, flexão e resistência ao desgaste nos pontos de contato com outros componentes, além de possuir dimensões adequadas para a intercambiabilidade no conjunto mecânico. Para isso, além das propriedades de dureza e características microestruturais dos materiais, os projetos preveem características específicas de forma, dimensões além da integridade da superfície. Logicamente, o objetivo dos processos de fabricação, neste caso especificamente a usinagem, é garantir com que os componentes sejam fabricados respeitando as solicitações de projeto.

Historicamente, as operações de usinagem de acabamento em componentes endurecidos são realizadas pelo processo de retificação. No entanto, principalmente a partir da década de 1980, com o desenvolvimento das ferramentas de usinagem construídas em materiais ultraduros, as cerâmicas e o PCBN, aliado ao desenvolvimento de máquinas-ferramentas com elevada rigidez e estabilidade dinâmica, o torneamento tornou-se um processo capaz de atingir níveis de tolerâncias comparáveis ao processo de retificação. Como exemplo, conforme mostra a Fig. 1, o torneamento de

materiais endurecidos de alta precisão é capaz de atingir rugosidade em torno de $1 \mu\text{m}$ na escala Rt e tolerância padrão ISO equivalente a IT3 (Byrne; Dornfeld; Denkena, 2003 e Grzesik, 2008).

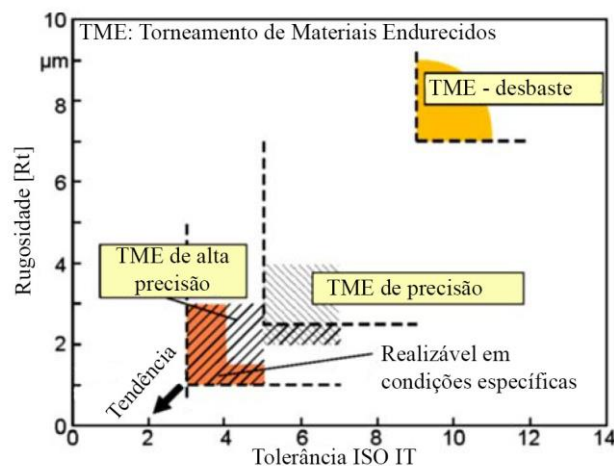


Figura 1. Rugosidade versus tolerância ISO IT para o torneamento de materiais endurecidos (Byrne; Dornfeld; Denkena, 2003)

Apesar da tendência mostrada na Fig. 1, quando os processos de torneamento de materiais endurecidos e retificação são comparados (Fig. 2), o torneamento possui as seguintes vantagens: baixo dano nas camadas da subsuperfície; maior compatibilidade ambiental (devido a não utilização de meios lubrificantes); mínimo tempo de preparação da máquina-ferramenta; maior flexibilidade do processo e maior taxa de remoção de material. Porém, justamente nos itens que remetem à qualidade da geometria fabricada, o processo de retificação possibilita melhores resultados, itens estes: precisão de forma e dimensão; qualidade da rugosidade da superfície, confiabilidade do processo e baixa tensão residual de tração (Klocke; Brinksmeier; Weinert, 2005).

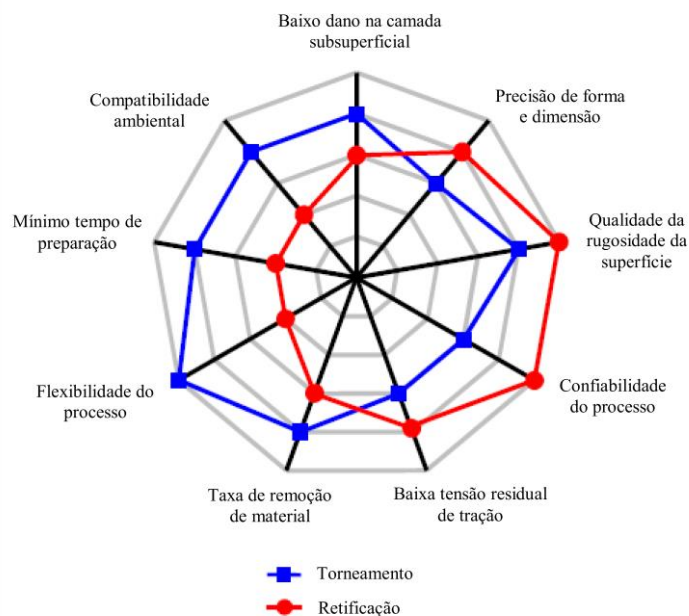


Figura 2. Rugosidade versus tolerância ISO IT para o torneamento de materiais endurecidos (Klocke; Brinksmeier; Weinert, 2005)

Baseado nos resultados mostrados na Fig. 2 e no excelente histórico e confiabilidade do processo de retificação, torna-se nítido o motivo da hesitação do ambiente industrial na aplicação do torneamento de materiais endurecidos na produção em grande escala, principalmente quando existe a possibilidade de substituição do processo consolidado de

retificação. Tal hesitação baseia-se principalmente na capacidade de o processo de torneamento manter as tolerâncias geométricas, de forma e posição ao longo da vida das ferramentas.

Dentre as tolerâncias geométricas indicadas na NBR 6409 (1997), está tolerância de forma planeza. Para a qual, o campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos afastados a uma distância “t”. A Fig. 3 mostra a representação do campo de tolerância da planeza.

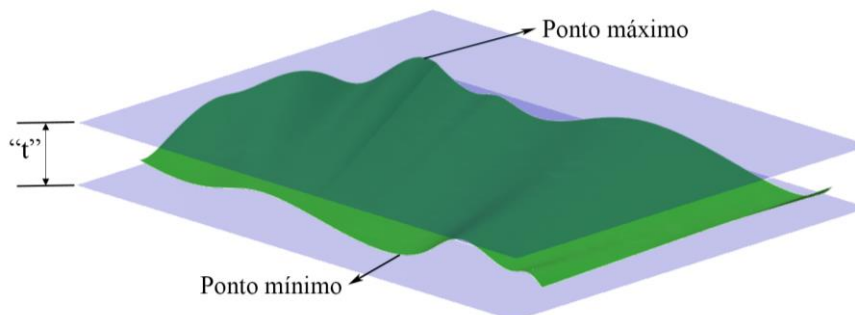


Figura 3. Campo de tolerância da planeza. Adaptado da norma NBR 6409 de 1997.

A cota “t” em questão, é determinada pela distância entre os planos – definidos pela localização do ponto mais alto e mais baixo na superfície da peça. A avaliação da tolerância planeza no torneamento de materiais endurecidos é extremamente importante quando produtos de precisão são fabricados, tais como peças em que a superfície usinada será empregada como vedação para produtos líquidos ou de baixa viscosidade, ou mesmo em conjuntos mecânicos que necessitam de tolerâncias restritas para funcionarem apropriadamente.

No contexto supracitado, o objetivo deste trabalho é analisar a tolerância de forma planeza gerada no torneamento do aço AISI 4340 endurecido (55 HRC) utilizando ferramentas de metal-duro.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos desta pesquisa foram realizados no Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação do Centro Universitário de Brusque UNIFEBE. A máquina-ferramenta utilizada foi um Centro de Torneamento da marca ROMI, modelo GL 240, com potência de 15 kW no eixo-árvore, rotação máxima de 4.500 rpm, com capacidade na torre para 12 ferramentas. Possui placa com acionamento hidráulico com 26 kgf/cm² e diâmetro de 210 mm, com curso máximo no eixo X de 180 mm e 400 mm no eixo Z, e equipado com comando numérico GE Fanuc 0i-TC.

O material utilizado neste trabalho é o aço AISI 4340, cuja composição química, fornecida pela fabricante, está apresentada a seguir, Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do aço AISI 4340 (% em massa).

C	Mn	P	Si	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
0,39	0,67	0,02	0,27	0,01	1,74	0,76	0,22	0,20	0,01

Os corpos de prova foram submetidos ao processo de tratamento térmico, (na empresa Tecnotêmpera em Guaramirim – SC), de têmpera e revenimento, para atingirem a dureza de 55± 1 HRC. Para fixação e posicionamento do corpo de prova, foram projetadas e fabricadas castanhas de aço AISI 4340 (40 ± 1 HRC), as quais têm a finalidade de reduzir os efeitos da vibração, garantindo maior rigidez e estabilidade ao conjunto de usinagem.

Os experimentos foram conduzidos de forma aleatória seguindo um planejamento fatorial 2³, com três réplicas, sendo os níveis relacionados na Tab. 2.

Tabela 2. Caracterização do Planejamento Fatorial 2³

Fator	Nível baixo	Nível alto
Geometria	Contínuo	Interrompido
Estratégia de usinagem	Convencional	Recuo
Classe da Ferramenta	1105	4315

O primeiro fator se refere à geometria do corpo de prova, Fig. 4. Foram utilizadas geometrias de corpos de prova para promover o corte contínuo e interrompido. A escolha desta geometria foi baseada em Diniz e Oliveira (2008). Enquanto que no corte contínuo a ferramenta fica em contato com a peça ao longo do percurso de usinagem, no corte interrompido o contato da ferramenta com a peça é aliviado pelos canais na face do corpo de prova. Por outro lado, os canais promovem choques mecânicos sobre a face da ferramenta. A geometria para corte interrompido foi desenvolvida com o objetivo de simular, por exemplo, rasgos de chaveta ou canais de lubrificação na face do componente.

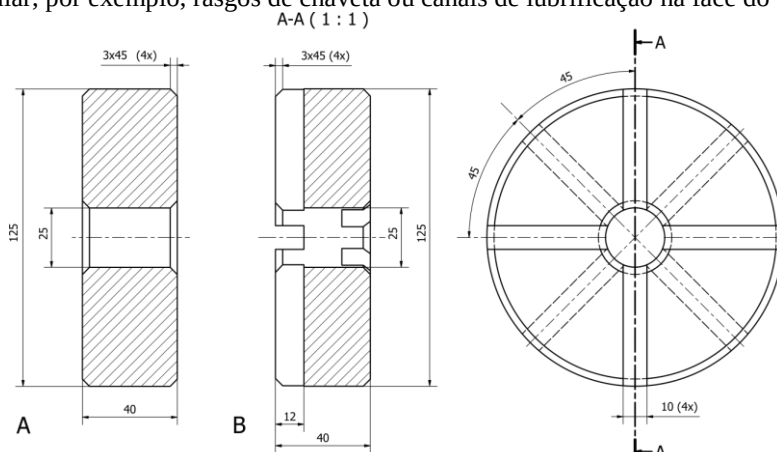


Figura 4. Geometria dos corpos de prova. A) contínuo e B) interrompido.

O principal motivo de falha nas ferramentas de metal-duro quando aplicadas no torneamento de materiais endurecidos advém de mecanismos térmicos. Deste modo, o segundo fator utilizado no planejamento fatorial se refere à estratégia de usinagem. A Fig. 5 mostra uma representação esquemática das duas estratégias utilizadas.

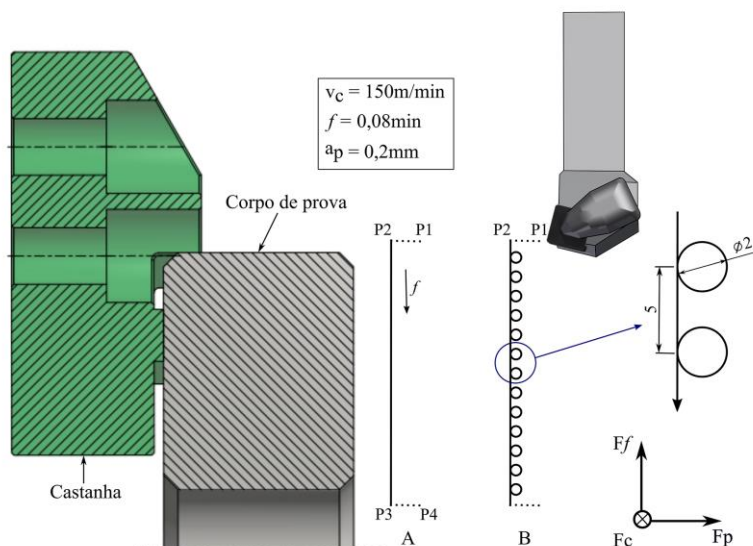


Figura 5. Representação esquemática da estratégia de usinagem utilizada. A) Convencional e B) com recuo.

A estratégia de usinagem convencional, conforme a representação esquemática mostrada na Fig.5, aproxima a ferramenta do ponto P1 para o P2 e executa o faceamento do corpo de prova de forma contínua até o P3, sendo o retorno da ferramenta representado pelo ponto P4. Para a estratégia de usinagem com recuo, entre os pontos P2 e P3 a ferramenta executa um movimento circular em sentido anti-horário, aliviando o contato da ferramenta com a face da peça. O objetivo da estratégia com recuo é proporcionar a quebra do ciclo térmico na ferramenta.

O último fator utilizado nos experimentos e mostrado na Tab.2 se refere à classe da ferramenta de metal-duro. Foram utilizadas duas classes de ferramentas de metal-duro com o código SNMG 12 04 08-MF: classe 1105, com substrato de grãos ultrafinos e classe 4315 com revestimento de grãos epitaxiais. As ferramentas foram montadas no porta-ferramenta DSKNL 2020K 12, sendo fixadas por grampo e parafuso. As ferramentas e o porta ferramenta foram fornecidos pela empresa Sandvik Coromant®.

Como variável de saída neste trabalho foi utilizada a planeza gerada ao longo dos ensaios. Para esta etapa foi utilizada a Máquina de Medição Tridimensional Crysta-Plus M443, a qual possui um curso de medição de 400 mm, 400 mm e 300 mm nos eixos x, y e z, respectivamente, e uma resolução de 0,0005 mm, Fig.6.

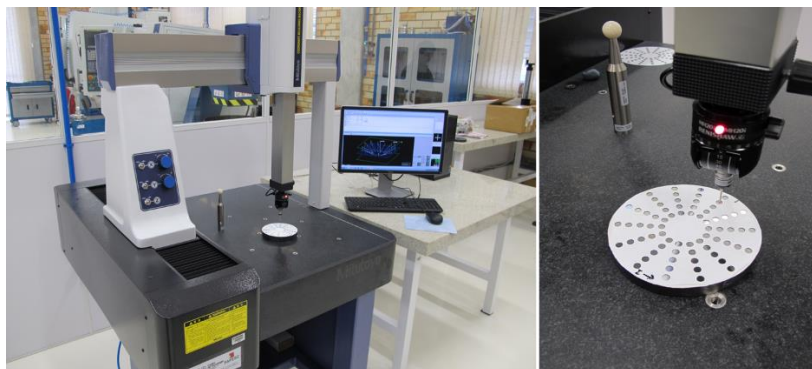


Figura 6. Máquina de medir por coordenadas e gabarito utilizado na medição da planeza.

A máquina de medir por coordenadas mostrada na Fig. 6 é acoplada a um microcomputador equipado com software MCOSMOS Geopak®, por meio do qual foi possível obter os dados geométricos, Fig. 7. Para obter-se um padrão na medição dos corpos de prova, foi utilizado um gabarito, que serviu de orientação para a posição aproximada dos pontos de medição. Para o corpo de prova de geometria contínua foram distribuídos 70 pontos de medição. Já no corpo de prova interrompido, cuja área da superfície foi reduzida em função dos canais, foram distribuídos 60 pontos de medição.

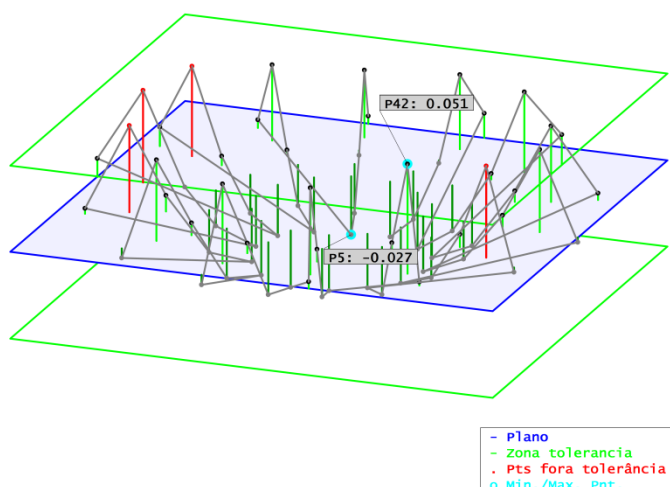


Figura 7. Exemplo do gráfico gerado para o resultado de planeza.

Os ensaios foram realizados conforme a operação de faceamento (do diâmetro maior para o diâmetro menor). O limite de vida da ferramenta utilizado foi de $VB = 0,2$ mm, sendo que o intervalo de medição utilizado tanto para a avaliação do desgaste como para a avaliação da planeza foi de apenas um único passe de faceamento. Não foram utilizados meios lubrificantes. Os parâmetros de usinagem foram mantidos fixos e estão mostrados na Tab. 3.

Tabela 3. Parâmetros de corte dos ensaios de torneamento.

Parâmetro de corte	Valor
Velocidade de corte (v_c)	150 m/min
Avanço (f)	0,08 mm
Profundidade de corte (a_p)	0,20 mm

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A discussão dos resultados para a planeza será feita em dois estágios da vida das ferramentas. A planeza gerada no primeiro passe da ferramenta, ou seja, com a ferramenta praticamente nova e a planeza gerada no final de vida das ferramentas, em VB = 0,2 mm. A Tab. 4 mostra a estimativa dos efeitos e estatística t para cada fonte de variação, bem como o respectivo valor P , sendo que este representa o menor nível de significância em que a hipótese nula (fonte não significativa) seria rejeitada.

Tabela 4. Estimativa t para cada efeito no planejamento fatorial 2^3 .

Fonte de variação	Estimativa do efeito (mm)	Estatística t	P
Classe	-0,00092	-0,22	0,828
Geometria	0,03408	8,23	0,000
Estratégia	0,00692	1,67	0,114
Classe*Geometria	-0,00158	-0,38	0,707
Classe*Estratégia	0,00058	0,14	0,890
Geometria*Estratégia	-0,00042	-0,10	0,921
Classe*Geometria*Estratégia	-0,00075	-0,18	0,859

Com base nos efeitos padronizados, a probabilidade normal auxilia na interpretação dos resultados, Fig. 8. Para um nível de significância de 0,10, os resultados demonstraram que, para o início da vida das ferramentas, apenas a geometria do corpo possui impacto significativo sobre a planeza.

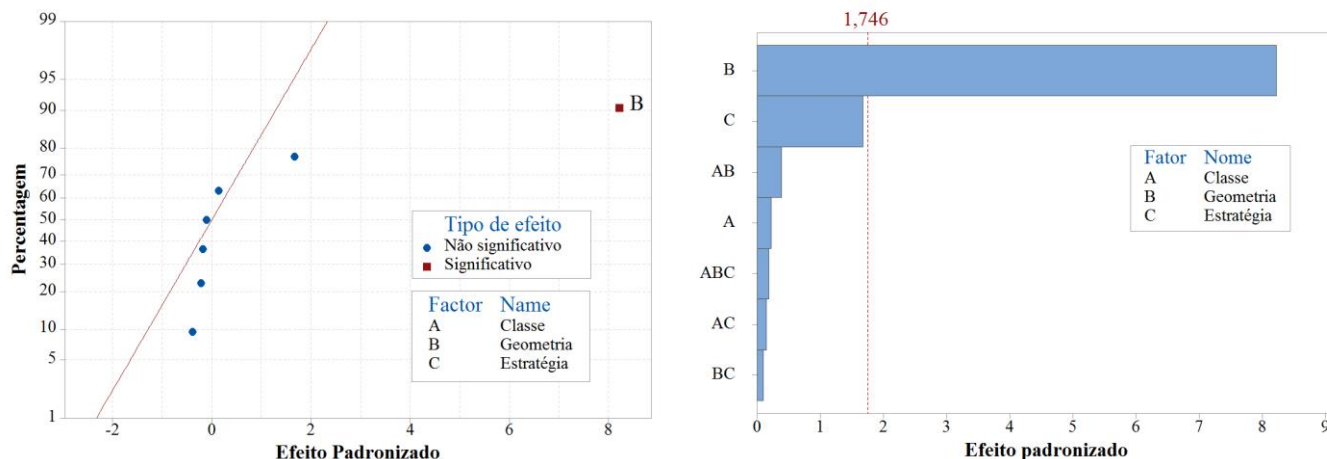


Figura 8. Probabilidade normal dos efeitos a partir do planejamento fatorial 2^3 .

Como mostrado na Tab. 4 e na Fig. 8, a única variável que influencia significativamente na tolerância de forma planeza é a geometria do corpo de prova. Os canais criados na superfície do corpo de prova para promover a condição de corte interrompido promovem um impacto sobre a face da ferramenta, em uma frequência crescente do diâmetro maior para o diâmetro menor do corpo de prova, pois a velocidade de corte utilizada nos experimentos foi constante. Deste modo, como trata-se de uma operação de faceamento, quanto menor o diâmetro maior será a rotação. Sugere-se que tais choques promovem uma instabilidade do processo, seja pela interferência nos componentes da máquina-ferramenta, seja no sistema de fixação utilizado ao longo dos ensaios. Estes resultados remetem à um cuidado especial quando se projeta a adoção do torneamento de materiais endurecidos em ambiente industrial. Tipicamente, nos estudos sobre o desempenho do processo de usinagem, são consideradas variáveis como vida da ferramenta e acabamento da superfície. Porém, os resultados deste trabalho indicam que, mesmo quando as ferramentas estão isentas de desgastes significativos, a própria geometria do componente usinado pode inviabilizar a operação. Com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão dos resultados de planeza, a Fig. 9 mostra as interações no planejamento fatorial 2^3 .

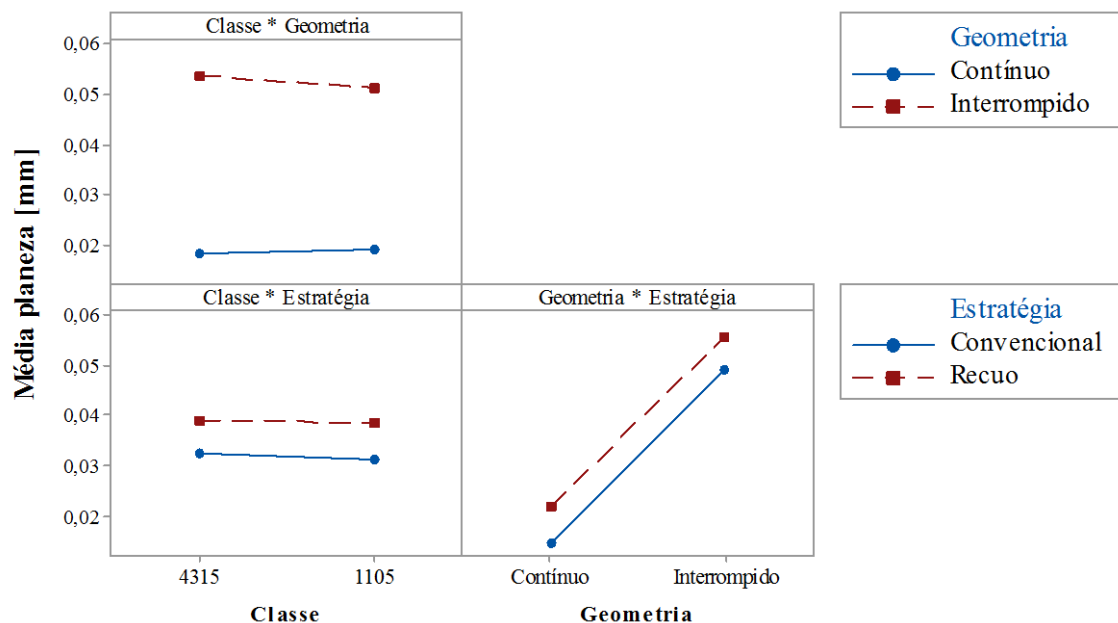


Figura 9. Interações no planejamento fatorial 2³, para a planeza em [mm].

Baseado nos resultados da Fig. 9 é possível inferir que apenas há interação entre a geometria do corpo de prova com a estratégia de usinagem utilizada. Houve um considerável aumento dos valores de planeza na condição de corte interrompido em comparação ao corte contínuo. Além disso, verifica-se que a estratégia de usinagem com recuo (alívio térmico), embora em menor escala, promoveu maiores valores de planeza em comparação à estratégia convencional. Tais comparações ficam mais evidentes na Fig. 10, a qual mostra os efeitos principais para a planeza.

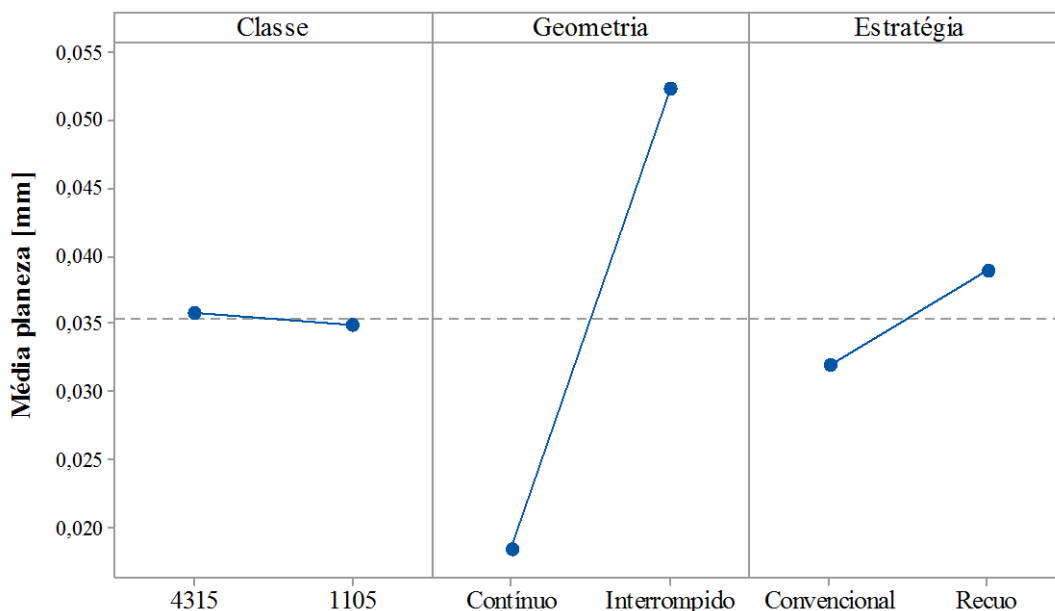


Figura 10. Efeitos principais no planejamento fatorial 2³, para a planeza em [mm].

Analisando a Fig. 10, pode-se constatar que a geometria do corte interrompido e a estratégia de usinagem com recuo estão relacionadas pelo efeito na planeza. A diferença trata-se apenas da magnitude da oscilação gerada no sistema de usinagem. Os impactos sobre a ferramenta promovidos pelos canais de interrupção são mais pronunciados que o impacto causado pela entrada e saída da ferramenta no corpo de prova causado pela estratégia de usinagem com recuo – alívio térmico. Tais oscilações podem ser causadas pela falta de rigidez da máquina-ferramenta, inclusive, podem prejudicar o desempenho da ferramenta de corte.

Como as ferramentas estão praticamente isentas de desgastes, o impacto da classe da ferramenta na planeza é praticamente insignificante. Além disso, como a análise da planeza foi realizada após o primeiro passe da vida das ferramentas, os menores valores de planeza encontrados (em torno de 0,20 mm), podem ser diretamente atribuídos aos erros sistemáticos da máquina-ferramenta. Obviamente, com a evolução do desgaste das ferramentas ao longo da vida, as componentes da força de usinagem aumentam e outros efeitos que podem ser significativos na planeza gerada. Deste modo, a Tab. 5 mostra a estimativa dos efeitos e estatística t para cada fonte de variação, bem como o respectivo valor P , sendo que este representa o menor nível de significância em que a hipótese nula (fonte não significativa) seria rejeitada.

Tabela 5. Estimativa t para cada efeito no planejamento fatorial 2^3 ao final da vida das ferramentas.

Fonte de variação	Estimativa do efeito (mm)	Estatística t	P
Classe	-0,00433	-0,70	0,493
Geometria	0,04183	6,77	0,000
Estratégia	0,01133	1,83	0,085
Classe*Geometria	0,00200	0,32	0,750
Classe*Estratégia	0,00108	0,73	1,000
Geometria*Estratégia	-0,00233	-0,38	0,711
Classe*Geometria*Estratégia	0,00517	0,84	0,415

Com base nos efeitos padronizados, Fig.11, para um nível de significância de 0,10, os resultados demonstraram que, para o final da vida das ferramentas, além da geometria do corpo, a estratégia de usinagem também passa a ter impacto significativo sobre a planeza.

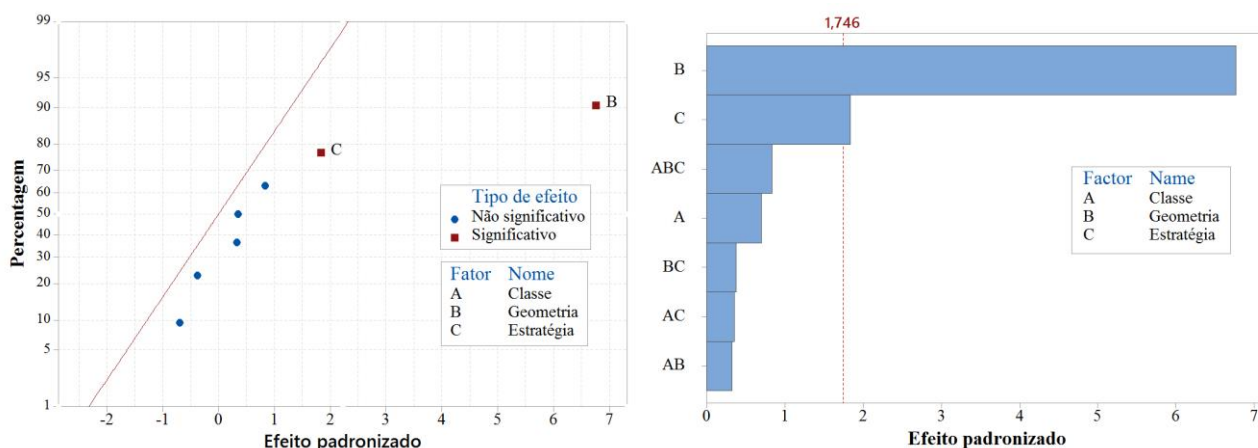


Figura 11. Probabilidade normal dos efeitos a partir do planejamento fatorial 2^3 ao final da vida das ferramentas.

Como pode ser visualizado na Fig. 11, além da geometria da ferramenta, a estratégia de usinagem também passa a ser significativa para a planeza. Inclusive, a significância da estratégia de usinagem está praticamente no limite do efeito significativo para não significativo. Estes resultados indicam que a evolução do desgaste das ferramentas e o consequente aumento da área de contato da ferramenta com a peça, induzem a maiores oscilações no processo de usinagem, acarretando em piores resultados da planeza (valores mais elevados), conforme pode ser constatado na Fig. 12.

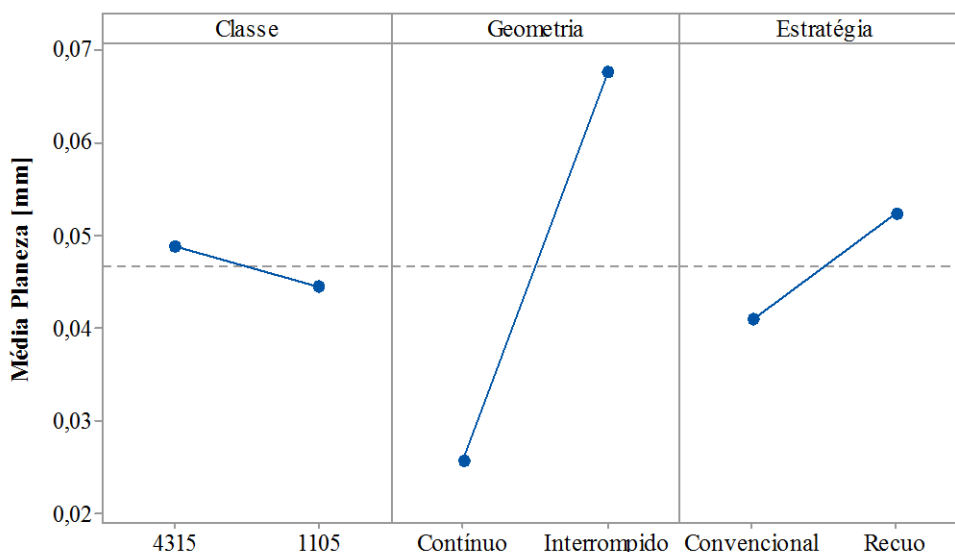


Figura 12. Probabilidade normal dos efeitos a partir do planejamento fatorial 2^3 ao final da vida das ferramentas.

Analisando a Fig.12, verificam-se as mesmas tendências apontadas na Fig. 9 e Fig. 10. A média geral da planeza aumentou em relação ao início da vida da ferramenta. A diferença do fator estratégia de usinagem de convencional para com recuo ficou mais pronunciada. Ao final da vida das ferramentas, verifica-se maior diferença entre as classes de ferramentas utilizadas, para as quais a classe 1105 apresentou melhores resultados. Como o limite de vida para as ferramentas foi o mesmo, a saber, $VB = 0,2$ mm, sugere-se que este resultado tem relação direta com a topografia do desgaste da ferramenta.

A avaliação da variável de saída planeza realizada nesta pesquisa indica que, dentre as variáveis utilizadas, a combinação de melhor resultado, por ordem de significância, seria a utilização de corte contínuo, na estratégia de usinagem convencional com a ferramenta de metal-duro classe 1105. Ficou evidente que as interrupções do corpo de prova e, em menor magnitude, a estratégia de usinagem com recuo, promoveram oscilações ao processo de usinagem, situação que interfere diretamente nos resultados de planeza.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos ao longo dos experimentos, conclui-se que:

- dentre as variáveis utilizadas nos experimentos, melhores resultados de planeza podem ser obtidos utilizando o corte contínuo, com a estratégia de usinagem convencional e a classe da ferramenta de metal-duro 1105;
- no início da vida da ferramenta, a única variável que influencia nos resultados de planeza é a geometria do corpo de prova, sendo que os piores resultados foram gerados pela condição de corte interrompido. Ao final da vida da ferramenta, a estratégia de usinagem também passa a ser significativa;
- tanto a condição de corte interrompido, como também a estratégia de usinagem do corte com recuo (alívio térmico), promoveram maiores oscilações no sistema de usinagem resultando em piores resultados para a tolerância de forma planeza;
- o menor valor de planeza encontrado representa os erros sistemáticos da máquina-ferramenta;

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o financiamento e apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina) e UNIEDU (Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina).

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 6409: Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. Rio de Janeiro, 1997. 19 p.

- Byrne, G.; Dornfeld, D.; Denkena, B., 2003, “Advancing cutting technology”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, p. 483-507.
- Diniz, A. E.; Oliveira, A. J. de., 2008, “Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools”, Journal of materials processing technology, v. 195, p. 275-281.
- Grzesik, W., 2008, “Advanced Machining Processes of Metallic Materials - Theory, Modelling and Applications”, Elsevier.
- Klocke, F.; Brinksmeier, E.; Weinert, K., 2005, “Capability Profile of Hard Cutting and Grinding Processes”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, v. 54, p. 22-45

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

FLATNESS ANALYSIS IN HARD TURNING OF THE AISI 4340 (55 HRC) WITH CEMENTED CARBIDE TOOLS

Lucas Danrlei Manteli, lucas_manteli@unifebe.edu.br¹

Célio Noll, celio.noll@unifebe.edu.br¹

Denis Boing, denisboing@unifebe.edu.br¹

¹Centro Universitário de Brusque - UNIFEBE, Centro de Tecnologia e Inovação em Fabricação - CTIF, Rua Dorval Luz, 123, Brusque, SC, 88352-400.

Abstract: Since the 1980s, hard turning has been extensively researched and industrially applied in finish process for replacing grinding, or even in hybrid process with it. Hard turning has greater environmental compatibility (due to machining being performed without coolants), higher material removal rate and even induces less damage in the workpiece rim layer. However, the main factors that lead to the reliability of the industrial process, as residual stress levels, the surface quality and accuracy of shape and size, are factors favorable to the grinding process. In this context, the objective of this research is to study the geometric tolerance of flatness form in the hardened turning steel AISI 4340 (55 HRC) using cemented carbide tools. Design of experiments (DOE) was applied with three variables in two levels – cutting conditions (continuous and interrupted), grade of metal carbide (ultrafine grains and conventional grains with epitaxial coating) and machining strategy (conventional and fallback – thermal relief). Typical finish cutting parameters were applied ($v_c = 150$ m/min $f = 0.08$ mm, $a_p = 0.20$ mm) and the experiments were performed in facing operations (radial direction). This situation allowed the simulation of industrial processes of flanges parts. Statistical analysis of the results for a significance level of $\alpha = 0.10$ shows that in the early life of the tools, the only factor that influences in the flatness is the cutting condition. The interrupted cutting promoted the worst results; it may be related to the instability caused by the tool impact against the interruptions (specimen channels). The other conditions were stable and the deviations that occurred were resulted by systematic errors of positioning by the machine. Throughout the tool life, with the tool material loss due to wear, the flatness was gradually increased. At the end of the tool life, in addition to tool geometry, the machining strategy also has a significant influence factor. This situation is directly related to the impact of machining strategy in the performance of the tool. In general, the best results were obtained with the ultrafine grade tool, and the continuous cutting using conventional machining strategy. The results showed promising situations in terms of reliability of the hard turning process, especially for its use in the industrial environment.

Keywords: Hard tuning, flatness, reliability.