

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CORTE NA FORMAÇÃO DO CAVACO

Mychal Thalles Alberto Ribeiro, mychal.ribeiro@ifpa.edu.br¹

Welliton Paulo da Silva, welliton.silva@ifpa.edu.br¹

Gilcimar Pereira, gilcimar.pereira@ifpa.edu.br¹

¹IFPA – Campus Marabá Industrial, folha 22, quadra especial, lote especial II, Nova Marabá, 68.508-970.

Resumo: A usinagem é um processo de fabricação que possui ampla aplicação dentro do setor industrial. Dentre os processos de usinagem, o torneamento é utilizado para a fabricação de componentes e peças com elementos simétricos rotacionais. Este processo de fabricação é caracterizado pela formação de cavaco, ou seja, por uma porção de material da peça, que apresenta geometria irregular, a qual é retirada pela ferramenta de corte. Sabe-se que a morfologia do cavaco exerce influência significativa em fatores como integridade da superfície e segurança operacional. Além disso, a forma do cavaco é capaz de interferir no desgaste da ferramenta, na força de corte, no calor gerado, dentre outros fatores. A esse respeito, a forma do cavaco depende de variáveis tais como avanço, profundidade de corte e velocidade de corte. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar a formação do cavaco alterando o avanço e a velocidade de corte em um aço carbono SAE 1020, mantendo-se constante a profundidade de corte em 0,5 mm. A investigação adota uma combinação das variáveis, resultando em 12 condições de trabalho. Com as variáveis empregadas os resultados revelam que, de modo geral, os cavacos se apresentam na forma helicoidal tipo arruela. Investigando o efeito da velocidade de corte (v_c), percebe-se que ao empregar o avanço de 0,32 mm/volta estes são emaranhados, passando a exibir um formato emaranhado esférico com uma tendência de redução no diâmetro à medida que v_c aumenta. Em 0,19 mm/volta o cavaco inicialmente, com menor velocidade de corte, é curto, sendo posteriormente alongado com o aumento de v_c . Por sua vez, com avanço de 0,053 mm/volta segue a mesma tendência de comprimento observada na situação anteriormente apresentada, aumentando com a velocidade de corte. Contudo, nesse último caso, há uma redução na espessura do cavaco, quando comparados ao demais obtidos nesse estudo. Com relação à velocidade de avanço (v_f), o comprimento do cavaco é maior à medida que o avanço diminui. Diante dos dados apresentados, cabe dizer que o aumento de v_c , bem como a redução de v_f , tendem a aumentar o comprimento do cavaco. Verifica-se também que, visualmente, o aumento de v_c e a redução de v_f , contribuem com o melhor acabamento superficial da peça de trabalho.

Palavras-chave: usinagem, torneamento, cavaco, velocidade de corte, velocidade de avanço.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Helman and Cetlin (2010), conformação mecânica são operações onde solicitações mecânicas são aplicadas em metais, que respondem com mudança permanente de dimensões e de propriedades. Segundo Ferraresi (1970), quando ocorre remoção de cavaco, o processo de conformação é denominado usinagem. Este autor define cavaco como sendo uma porção de material da peça, que apresenta forma geométrica irregular, na qual é retirada pela ferramenta de corte. Para Diniz, *et al.* (2013), a formação do cavaco possui relação com diversos fatores nos processos de usinagem, influenciando no desgaste da ferramenta, esforços de corte, calor gerado, dentre outros. Dessa maneira, o processo de formação do cavaco possui relação estreita com aspectos econômicos, de qualidade e de segurança operacional.

Quanto a sua forma, os cavacos podem ter classificações distintas, podendo se apresentar em fita, tubular, espiral, helicoidal tipo arruela, helicoidal cônico, arco, fragmentado e tipo agulha (Machado *et al.*, 2015). Para Ferraresi (1970), certas formas de cavaco são capazes de dificultar a operação de usinagem e prejudicar o acabamento superficial. O autor acrescenta que o material da peça é o principal influenciador na formação do cavaco, no entanto, este sofre influência também da velocidade de corte (v_c) e da velocidade de avanço (v_f). Para Machado *et al.* (2015) o avanço é o parâmetro mais influente, seguido pela profundidade de corte (a_p). Tendo em vista que tais parâmetros influenciam na formação do cavaco, de acordo com Fitzpatrick, (2013), a adoção correta de v_c e v_f é capaz de aumentar consideravelmente a vida da ferramenta.

Nesse sentido, cabe destacar, conforme Machado *et al.* (2015), que a usinagem é um processo complexo, que necessita da determinação das condições ideais de corte, contudo, uma vez determinadas, o cavaco se forma corretamente, dispensando a intervenção do operador. Machado *et al.* (2015) acrescentam ainda que as condições ideais de corte são

aquelas capazes de proporcionar peças dentro das especificações de forma, tamanho e acabamento superficial com o menor custo possível.

Dentre os processos de usinagem, seja no ambiente laboral ou no ensino, o torneamento mecânico destaca-se como um dos mais utilizados. De acordo com Ferraresi (1970), este processo visa obter superfícies de revolução através do emprego de uma ferramenta de corte, onde a peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina, enquanto a ferramenta se desloca segundo uma trajetória coplanar com o referido eixo.

Nesse sentido, esta pesquisa visa observar a formação do cavaco frente as alterações de avanço e velocidade de corte em um aço 1020, buscando compreender os efeitos das variáveis em sua forma e suas implicações no aspecto visual macroscópico da peça.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realização da investigação foi utilizado o aço ABNT 1020 como peça de trabalho. A máquina ferramenta utilizada foi um torno NARDINI, modelo ND 250. Em uma das extremidades a peça de trabalho foi presa na placa de fixação e na outra recebeu apoio do contraponto, Fig 1(a). A ferramenta de corte empregada foi de metal duro ISO-TNMG 160408 TM, Fig 1(b), classificação de materiais nível 1 (PK), espessura da ferramenta 4,76mm, comprimento efetivo da aresta de corte 16,10mm, ângulo de ponta de 60°, ângulo de posição 90°, ângulo de inclinação de 0° e ângulo de saída de 22°. Para o procedimento foi aplicado o fluido refrigerante a base de minerais. O ensaio consistiu na adoção de três avanços (0,32 mm/volta, 0,19 mm/volta e 0,053 mm/volta) e quatro rotações (200 rpm, 400 rpm, 630 rpm e 800 rpm), Fig. 2. De acordo com Machado *et al.* 2015, conforme Eq. (1), a rotação da peça (n) possui relação com a velocidade de corte e o diâmetro (d). Assim, o aumento na rotação implica no aumento da v_c , onde a unidade de medida é dada em metros por minuto (m/min). Por sua vez, v_f é determinado pelo movimento de avanço da ferramenta e dado em milímetros por volta (mm/volta).

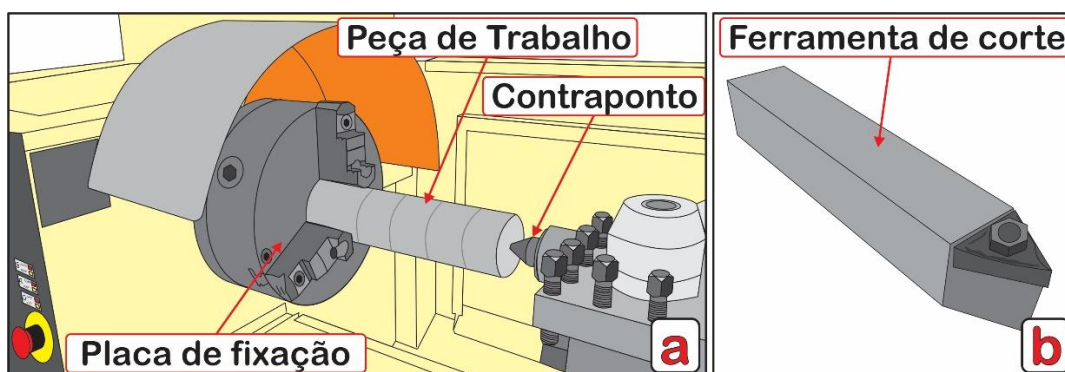


Figura 1. Instrumentos utilizados na usinagem: (a) Torno Nardini ND250; (b) Ferramenta de corte.

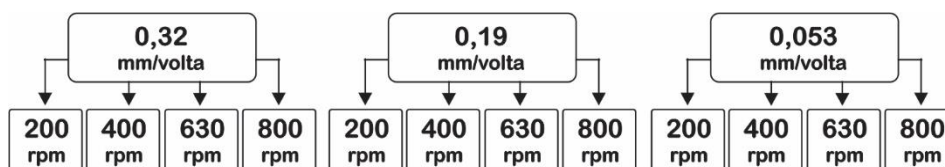


Figura 2. Fluxograma dos parâmetros operacionais adotados.

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (1)$$

Para o torneamento cilíndrico foram utilizadas barras circulares com diâmetro inicial de 70 mm e 200 mm de comprimento. O procedimento investigativo consistiu em dividir cada peça de trabalho em 4 seções de 40 mm cada, onde estas serviram de amostras para cada rotação (200 rpm, 400 rpm, 630 rpm e 800 rpm), Fig 3(a). No total, foram utilizadas 3 (três) peças de trabalho, sendo 1 para cada avanço (0,32 mm/volta, 0,19 mm/volta e 0,053 mm/volta), Fig 3(b). Dessa forma, foram definidas 12 condições de corte. Para todos os ensaios, a profundidade de corte foi de 0,5 mm e o modo de avanço selecionado foi o automático, com o movimento do carro transversal do torno. Ao final de cada seção o cavaco era recolhido, a imagem da superfície da peça era obtida e uma nova rotação era inserida na máquina ferramenta.

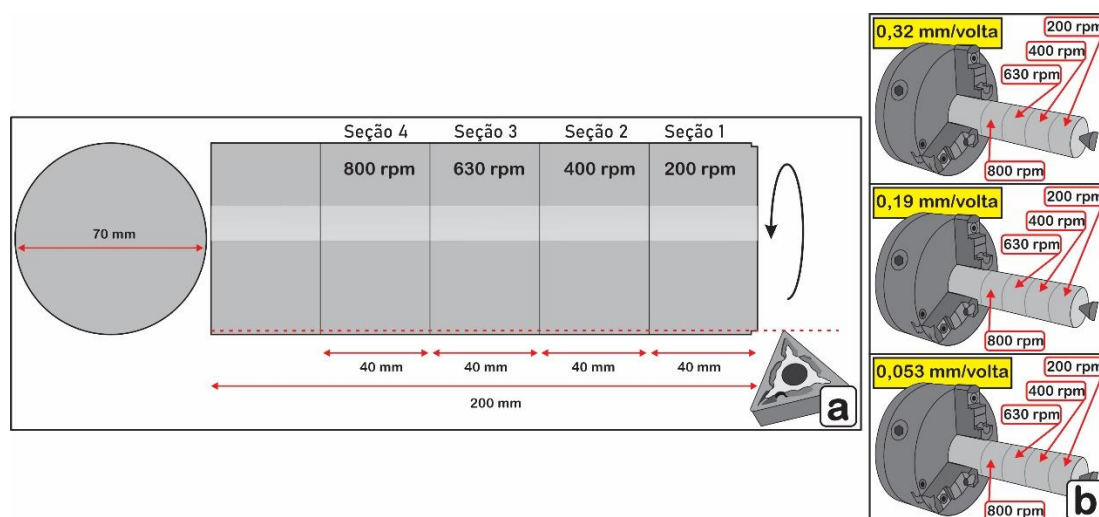


Figura 3. Procedimento investigativo: (a) Seções da peça de trabalho; (b) Esquema demonstrando as 3 peças de trabalho com suas respectivas variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 a 6 mostram os resultados obtidos com avanço de 0,32 mm/volta. Percebe-se que os cavacos apresentam formatos semelhante ao helicoidal tipo arruela emaranhado. Diferente do obtido com 200 rpm, que exibe uma forma irregular, Fig. 3(a) e (b), os demais passam a exibir uma característica esférica, o qual tende a diminuir o diâmetro com o aumento da rotação, ou seja, com o aumento da v_c .



Figura 3. Avanço de 0,32mm/volta e 200rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.



Figura 4. Avanço de 0,32mm/volta e 400rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.



Figura 5. Avanço de 0,32mm/volta e 630rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

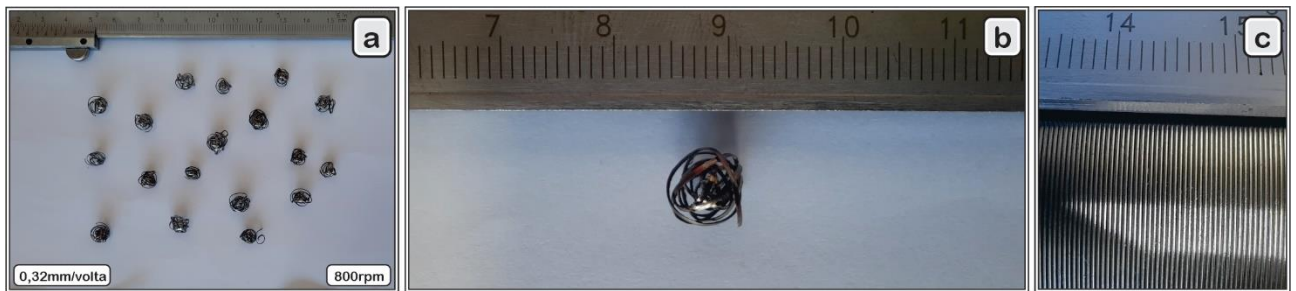


Figura 6. Avanço de 0,32mm/volta e 800rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

Nas Figuras 7 a 10 é possível observar os resultados obtidos com avanço de 0,19 mm/volta. Com 200 rpm o cavaco exibe o formato helicoidal tipo arruela curto, Fig. 7(a) e (b). Em 400rpm o cavaco passa a exibir o formato helicoidal tipo arruela longo, Fig. 8(a) e (b). Ao empregar 630rpm a característica desse cavaco também é do tipo helicoidal tipo arruela longo, Fig. 9(a) e (b), chegando a comprimentos na faixa de 1 metro. De forma análoga, com 800rpm, tem-se o mesmo formato de cavaco, Fig. 10(a) e (b), contudo, este possui comprimentos em torno de 3 metros. Cabe aqui enfatizar que a distância entre os espaçamentos, definidos aqui como vales, tende a aumentar com a rotação. Assim como identificado na investigação com o avanço de 0,32 mm/volta, aqui também é observado, a nível macroscópico, um melhor acabamento superficial a medida que a velocidade de corte aumenta, Fig. 7(c), Fig. 8(c), Fig. 9(c) e Fig. 10(c).



Figura 7. Avanço de 0,19mm/volta e 200rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

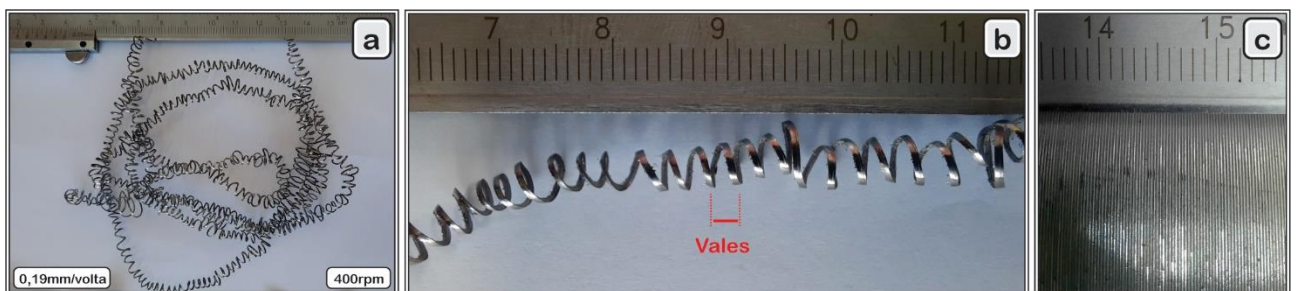


Figura 8. Avanço de 0,19mm/volta e 400rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

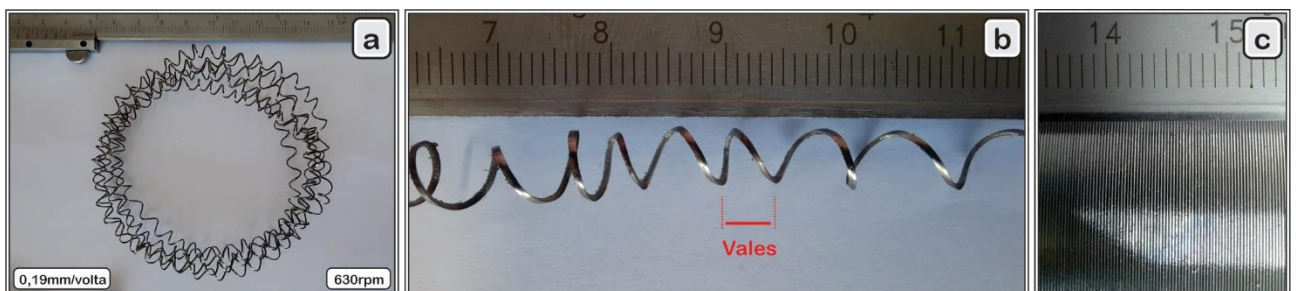


Figura 9. Avanço de 0,19mm/volta e 630rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

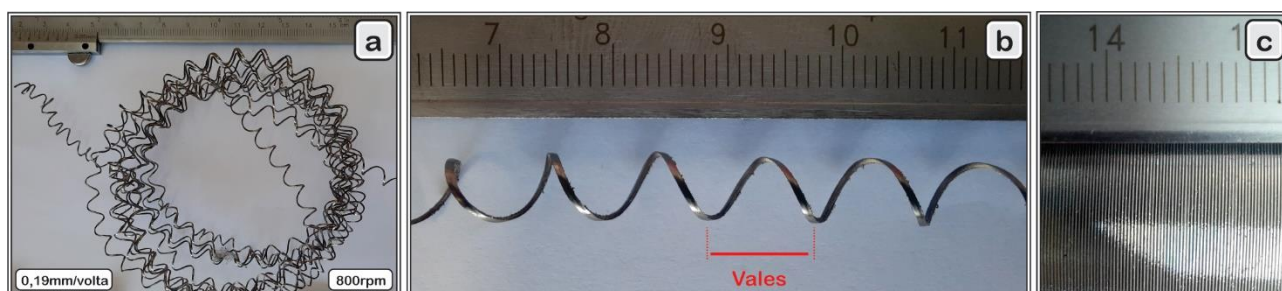


Figura 10. Avanço de 0,19mm/volta e 800rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

Por fim, as Figuras 11 a 14 mostram os resultados obtidos com avanço de 0,053 mm/volta. Nas Figuras 11 e 12 é possível verificar o procedimento com 200 rpm e 400 rpm, respectivamente. Em ambos os casos os cavacos exibem o formato helicoidal tipo arruela curto, tendo maior comprimento aquele obtido com 400rpm, Fig. 12(a) e (b). Nas duas últimas rotações, 630 rpm e 800rpm, Figuras 13 e 14, os cavacos exibem o formato helicoidal tipo arruela longo, onde o comprimento obtido em 800 rpm é muito superior ao identificado com 630 rpm. Aqui a distância entre os vales também é maior com o aumento da rotação. Cabe notar que a espessura do cavaco é menor, quando comparados com os avanços anteriores. Assim como identificado anteriormente, o aumento da velocidade de corte também demonstra influenciar de forma positiva na melhoria do acabamento superficial macroscópico da amostra, Fig. 11(c), Fig. 12(c), Fig. 13(c) e Fig. 14(c).



Figura 11. Avanço de 0,053mm/volta e 200rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.



Figura 12. Avanço de 0,053mm/volta e 400rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

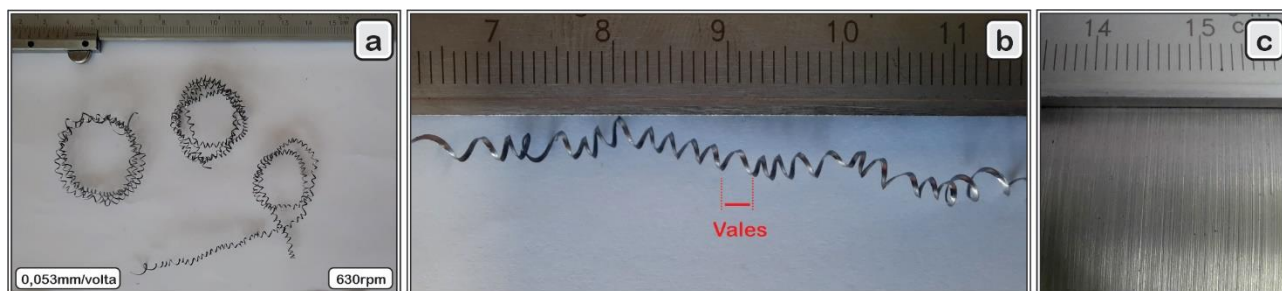


Figura 13. Avanço de 0,053mm/volta e 630rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

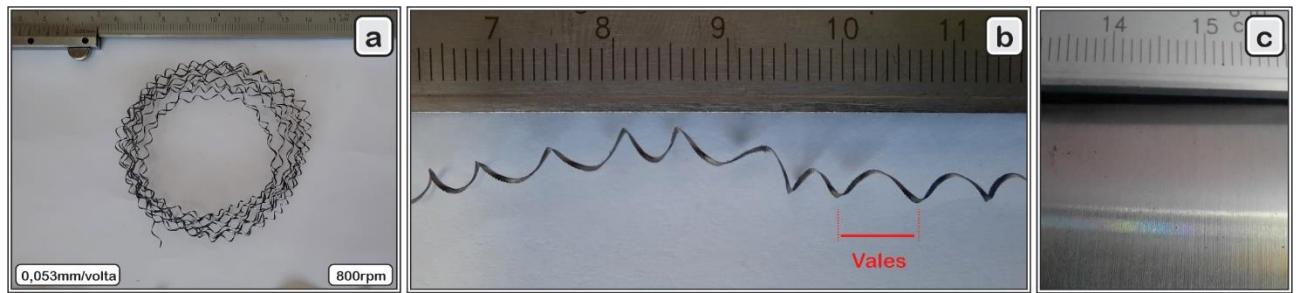


Figura 14. Avanço de 0,053mm/volta e 800rpm: (a) forma do cavaco; (b) ampliação da forma do cavaco; (c) acabamento superficial.

Diante disso, concordando com Silva (2008), os resultados revelam que a redução na velocidade de avanço – v_f , bem como o aumento velocidade de corte – v_c , tendem a aumentar o comprimento do cavaco. Para Klocke (2011), a propriedade de deformação plástica na formação do cavaco não está relacionada apenas com o material a ser usinado, mas também com v_f , v_c e com a profundidade de corte a_p . De acordo com Silva (2008), a medida que o avanço diminui, a espessura do cavaco também irá reduzir e, conseqüentemente, os cavacos se tornam mais difíceis de serem quebrados, resultando em maiores comprimentos. Por sua vez, ao elevar a velocidade de corte, a espessura do cavaco também diminui. Dessa maneira, de acordo com Aleixo (2020) e Camargo (2016), isso implica em menor grau de recalque, que de acordo com Rodrigues *et al.* (2007), no geral, reduz as forças de usinagem.

Observa-se também que, a nível macroscópico, o acabamento superficial da peça é melhor a medida que v_c aumenta, Fig. 15, 16 e 17. Visualmente percebe-se que o acabamento com 200 rpm tende a ser mais grosseiro do que o acabamento com 800 rpm. Do mesmo modo, a redução de v_f também influencia de forma positiva no acabamento superficial macroscópico. Ao comparar as imagens das amostras em uma mesma rotação, mesma velocidade de corte, aquela com menor avanço revela, visualmente, conter melhor acabamento. Tal constatação corrobora com Pereira (2011) e Aleixo (2020), o qual relatam que a rugosidade é intensificada com o aumento de v_f . Naitzke *et al.* (2019) acrescentam ainda que o menor avanço aliado à maior rotação da peça, ou seja, maior velocidade de corte, contribui com a redução da rugosidade que, conseqüentemente, proporciona melhor acabamento superficial.

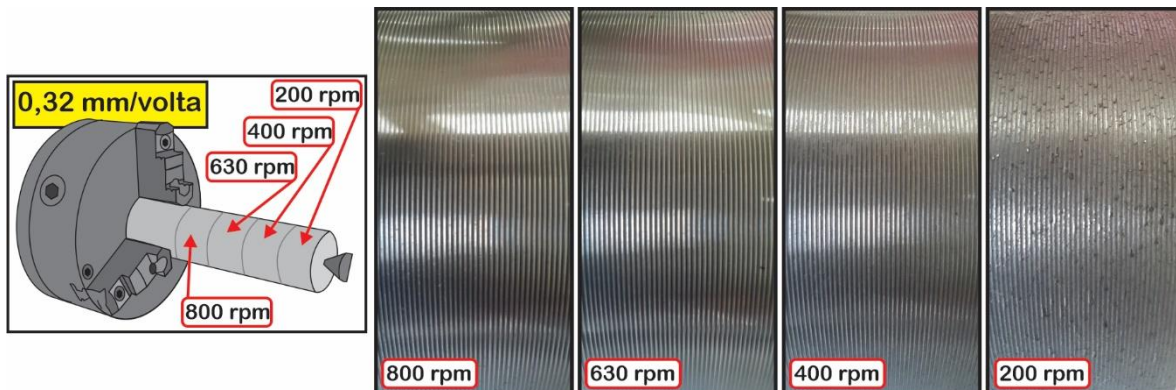


Figura 15. Acabamento superficial macroscópico com avanço de 0,32 mm/volta: (a) 200 rpm; (b) 400 rpm; (c) 630 rpm; (d) 800 rpm.

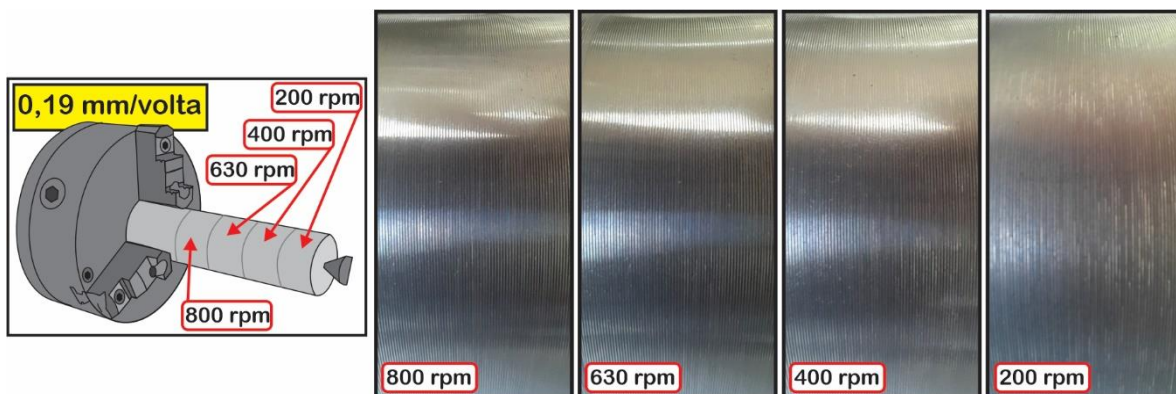


Figura 16. Acabamento superficial macroscópico com avanço de 0,19 mm/volta: (a) 200 rpm; (b) 400 rpm; (c) 630 rpm; (d) 800 rpm.

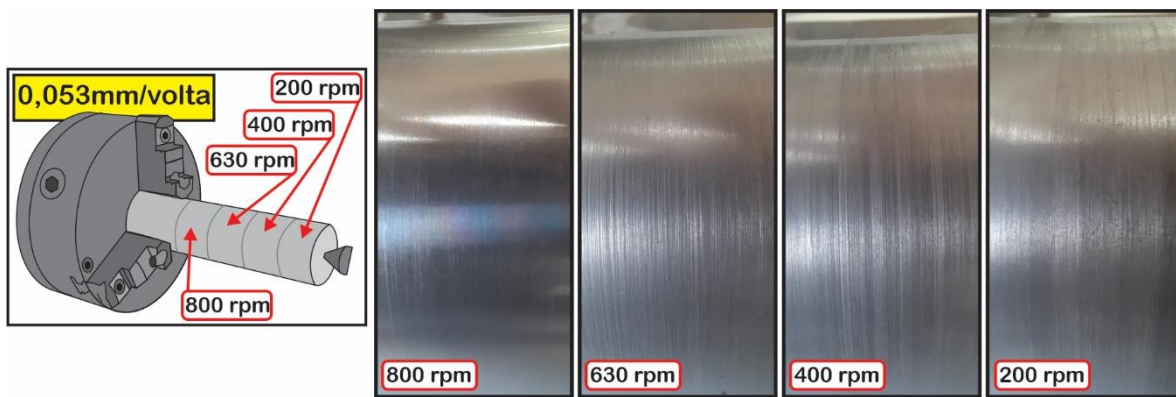


Figura 17. Acabamento superficial macroscópico com avanço de 0,053 mm/volta: (a) 200 rpm; (b) 400 rpm; (c) 630 rpm; (d) 800 rpm.

4. CONCLUSÃO

O experimento demonstra que o aumento de v_f tende a promover a formação de cavacos com maior fragmentação e o aumento de v_c tende a proporcionar o surgimento de cavacos contínuos e alongados. Esses parâmetros podem ser alterados para que o operador do torno obtenha a relação mais conveniente que resulte em um comprimento médio de cavaco que não venha a oferecer riscos a operação.

O acabamento superficial a nível macroscópico da peça é aprimorado com redução de v_f e aumento de v_c . No entanto, essa constatação é feita através de inspeção visual, sendo necessário a utilização de um rugosímetro para validar tal observação.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA - Campus Marabá Industrial.

6. REFERÊNCIAS

- Aleixo, G. S., 2020. *Avaliação do Desempenho de Ferramentas de Metal Duro e Cermet no Torneamento do Aço ABNT 1045*, Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 161 p.
- Camargo, J. F., 2016. *Análise da Formação de Cavacos no Torneamento de Aços Inoxidáveis com Emprego de um Sistema de Interrupção Súbita de Corte (QSD)*, Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil, 135 p.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2014, *Tecnologia da Usinagem dos Metais*, Ed. Artliber, São Paulo, Brazil, 174 p.
- Ferraresi, D., 1970, *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. Ed. Edgar Blucher, 18ª reimpressão, São Paulo, Brazil, 927 p.
- Fitzpatrick, M., 2013, *Introdução aos Processos de Usinagem*. Ed. AMGH Editora Ltda, Porto Alegre, Brazil, 506 p.
- Helman, H., Cetlin, P. R., 2015, *Fundamentos da Conformação*. Ed. Artliber, São Paulo, Brazil, 192 p.
- Klocke, F., 2011. *Manufacturing Process 1: Cutting*. Londres: Editora Springer. 517 p.
- Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Silva, M. B., 2015, *Teoria da Usinagem dos metais*. Ed. Blucher, São Paulo, Brazil, 367 p.
- Naitzke, D. A. C., Barrionuevo, G., Nardin, L. V., Silva, R., Pereira, R. L., Leite, S. S., 2019. “Análise da Rugosidade Superficial do aço SAE1020 no Processo de Torneamento”. *Engenharia em ação UniToledo*, V. 04, pp. 81-95.
- Pereira, R. B. D., 2011. “Influência do Quebra Cavaco na Dinâmica do Torneamento do Aço ABNT 1045”, Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del-Rei, São João Del Rei, Brazil, 133 p.
- Rodrigues, J. R. P., Rodrigues, J. R. P., Santos, J. C. S., Sordi, A., 2007. “Componentes da Força de Usinagem no Torneamento de Ligas Não Ferrosas e Aços ABNT 1020 e 1045”, *Máquinas e Metais*, Vol. 476, pp. 42-53.
- Silva, M. A. da, 2008. *Investigação Experimental da Formação do Cavaco Na Usinagem do Aço ABNT 1045 e do Ferro Fundido Nodular*, Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil, 72 p.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

Mychal Thalles Alberto Ribeiro, mychal.ribeiro@ifpa.edu.br¹
Welliton Paulo da Silva, welliton.silva@ifpa.edu.br²
Gilcimar Pereira, gilcimar.pereira@ifpa.edu.br²

¹IFPA – Campus Marabá Industrial, folha 22, quadra especial, lote especial II, Nova Marabá, 68.508-970.

Abstract: Machining is a manufacturing process that has wide application within the industrial sector. Among the machining processes, turning is used for the manufacture of components and parts with rotational symmetrical elements. This manufacturing process is characterized by chip formation, that is, by a portion of part material, which has irregular geometry, which is removed by the cutting tool. It is known that chip morphology has a significant influence on factors such as surface integrity and operational safety. In addition, the chip shape is capable of interfering with tool wear, cutting force, generated heat, among other factors. In this regard, the chip shape depends on variables such as feed, depth of cut and cutting speed. Thus, this work aims to analyze chip formation by changing the feed and cutting speed in an SAE 1020 carbon steel, keeping the cutting depth constant at 0.5 mm. The investigation adopts a combination of variables, resulting in 12 working conditions. With the variables used, the results reveal that, in general, the chips are presented in a washer-like helical shape. Investigating the effect of cutting speed (v_c), it can be seen that when using the feed rate of 0.32 mm/turn, these are entangled, starting to exhibit a spherical entangled shape with a tendency to decrease in diameter as v_c increases. At 0.19 mm/turn, the chip initially, with lower cutting speed, is short, being later elongated with increasing v_c . On the other hand, with a feed of 0.053 mm/turn, it follows the same length trend observed in the situation presented above, increasing with the cutting speed. However, in the latter case, there is a reduction in chip thickness when compared to the others obtained in this study. Regarding the feed rate (v_f), the chip length is longer as the feed decreases. Given the data presented, it is worth mentioning that the increase in v_c , as well as the reduction in v_f , tend to increase the chip length. It is also verified that, visually, increasing v_c and decreasing v_f contribute to a better surface finish of the workpiece.

Keywords: *machining, turning, chip, cutting speed, forward speed.*