

# ANÁLISE DE PARÂMETROS DE USINAGEM DO AÇO INOX AUSTENITICO ABNT 304<sup>1</sup>

Aline Pires Dias<sup>2</sup>  
Jeferson de Freitas Álvares<sup>2</sup>  
Páuber Soares de Melo<sup>2</sup>  
Marcelo Pereira de Souza<sup>2</sup>  
Emerson Augusto Raymundo<sup>3</sup>  
Rosinei Batista<sup>3</sup>

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi de analisar o comportamento do aço inoxidável ABNT 304 perante a usinagem e através dos parâmetros relevantes deste processo (avanço e velocidade de corte) relacioná-los com os dados de rugosidade e microdureza, e assim estabelecer parâmetros que podem trazer melhor acabamento na peça usinada. Para o torneamento da peça desse aço foi utilizada uma ferramenta de metal duro revestida. A cada passe foram recolhidas amostras de cavacos correspondentes ao parâmetro de usinagem. Para cada amostra de cavaco foi medido o seu comprimento e posteriormente foi feita a análise do tipo e da forma do cavaco. E por fim, realizou-se uma Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscopia óptica dos cavacos obtidos. Dentro dos avanços escolhidos o de maior valor obteve-se pior acabamento e posterior aumento de dureza checado pelo ensaio de microdureza. Em contrapartida, reduziu-se o comprimento dos cavacos, o que torna um benefício para o processo de usinagem. Os resultados mostraram que é possível estabelecer uma relação dos parâmetros de usinagem com a microdureza próxima a superfície, rugosidade e características dos cavacos.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável austenítico ABNT 304; Morfologia do cavaco; Propriedades.

## ANALYSIS OF PARAMETERS MACHINING AUSTENITIC STAINLESS STEEL ABNT 304

### Abstract

The aim of this study is to analyze the machinability of AISI 304 stainless steel and meet the relevant parameters of this process (cutting speed and feed). To relate them to the data of roughness and hardness, it becomes possible to establish parameters that will bring a better surface finish on the workpiece. For turning the piece of stainless steel AISI 304 was used coated carbide tool. Every pass was collected chip samples corresponding to the machining parameter. For each sample chip was measured its length and subsequently the analysis was done on the type and shape of the chip. And finally, there was a scanning electron microscopy (SEM) of chips obtained. With the advancement of higher value was obtained worst surface finish and increased microhardness. In contrast, reduced the length of the chips, which becomes a benefit to the machining process. The results showed that it is possible to establish a relationship between machining parameters with the microhardness near the surface, and roughness characteristics of the chips.

**Key words:** Austenitic stainless steel ABNT 304; Morphology of chip; Roughnees.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Mecânica. Centro Universitário de Volta Redonda (Unifoa), Brasil.

<sup>3</sup> Eng. Metalúrgico. Professor. Engenharia Metalúrgica, Unifoa, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A fabricação de componentes através da usinagem demanda cuidados na qualidade da produção, a fim de que se produza peças com acabamento cada vez melhor, dentro das tolerâncias desejadas, e sempre visando o baixo custo e alta produtividade. Para isto, é necessário que se tenha um profundo conhecimento do processo de usinagem em questão. Devem-se evitar falhas durante o processo e se determinar com exatidão as condições de corte adequadas para a usinagem correta de uma determinada peça.<sup>(1)</sup>

Durante o processo de usinagem é importante conhecer o comportamento de vários fenômenos ou parâmetros, tais como desgaste da ferramenta, aresta postiça de corte, calor gerado, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte etc., e para obter cientificamente uma explicação para o comportamento desses fatores é necessário um estudo minucioso do processo de formação do cavaco.<sup>(2)</sup>

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro e cromo, com, pelo menos 12% de cromo. Contêm ainda, na sua composição, níquel e baixas quantidades de carbono. O aço inoxidável ABNT 304 é classificado como um aço inoxidável austenítico, devido à sua matriz austenítica com carbonetos de cromo e são, geralmente, mais difíceis de usinar que os aços comuns ao carbono e aços de baixa liga, devido principalmente a alta taxa de encruamento durante a usinagem. Apresentam, também, cavacos longos que levam a um desgaste acelerado da ferramenta. O material da peça e a composição das ligas são os fatores mais significativos na caracterização do tipo de cavaco a ser produzido.<sup>(3)</sup>

O objetivo deste trabalho é caracterizar alguns efeitos causados na usinagem do aço inox ABNT 304 austenítico, através da operação de torneamento, estabelecendo correlações entre os parâmetros de corte e suas consequências na caracterização em questão, e fazer uma investigação experimental sobre os cavacos formados no torneamento cilíndrico externo deste aço.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas, ao longo de todos os testes, duas barras cilíndricas de aço inoxidável ABNT 304, de 38 mm de diâmetro e 120 mm de comprimento. Estas peças foram usinadas em um torno CNC, Fagor modelo TR-2, utilizou-se ferramentas de metal duro com cobertura/ cermet, especificação TNMG 16 04 04L-K 4025, da Sandvik Coromant. O suporte usado tem especificação MT JNR 2525 – M16, também da Sandvik. Para cada velocidade de corte foram obtidas amostras de cavaco para análises e para as medidas do comprimento dos cavacos, a medição foi feita com uma trena.

Para as medidas de dureza do material, foi utilizado um durômetro Pantec de dureza Rockwell com pré-carga de 10 quilogramas e carga de 100 quilogramas, aplicada durante 15 segundos com um penetrador de esfera 1/16 polegadas de aço temperado. Realizou-se 10 medidas em diferentes pontos ao longo da seção transversal da barra e calculou-se a média dessas durezas.

Para a medição da rugosidade das superfícies usinadas, foi utilizado um rugosímetro modelo TR 2000, *cut off* 0,8 mm x 5 mm, ranger (+/- 40 µm), filtro RC, STD:ISO. A medição da microdureza das seções depois de usinadas foi realizada com um microdurômetro Micro Vickers Hardness Tester, DHV-1000, penetrador de diamante (pirâmide base quadrada) ângulo 136° entre as faces, com variação de carga de 10 gf a 1 kgf (Figura 1).

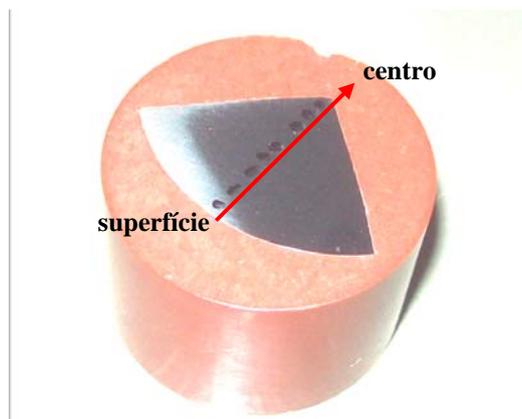


Figura 1. Sentido de medidas da microdureza. Escala 1:1.

O material usado na confecção do corpo de prova possuía sua composição química conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Composição química, % máxima

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00

As velocidades de corte foram variadas de um ensaio para outro e todas as outras condições foram mantidas constantes (Tabela 2).

Tabela 2. Condições de corte utilizadas nos ensaios obtenção de amostras de cavaco

	Velocidade corte (Vc) (m/min)	Avanço (f) (mm/r)	Profundidade de corte (a <sub>p</sub> ) (mm)
Passe 1	160	0,1	2
Passe 2	160	0,15	2
Passe 3	175	0,1	2
Passe 4	175	0,15	2

Os valores de velocidade de corte e avanço foram escolhidos baseados nas instruções do fabricante da ferramenta.

Foram realizados 4 passes para coleta de cavacos, com parâmetros de usinagem conforme Tabela 2. Todos os testes foram realizados sem a utilização de fluido de corte. Para cada condição de corte foi feita a metalografia dos cavacos correspondentes e dessas amostras foram obtidas imagens digitalizadas por meio da microscopia eletrônica de varredura e microanálise dispersiva de energia no Laboratório de Microscopia Eletrônica no Departamento de Engenharia de Materiais (Demar/EEL/USP) usando o Microscópio Eletrônico de Varredura tipo VP 1450, fabricado pela LEO. As análises de microscopia óptica foram realizadas no laboratório de Metalografia do UniFOA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Morfologia dos Cavacos

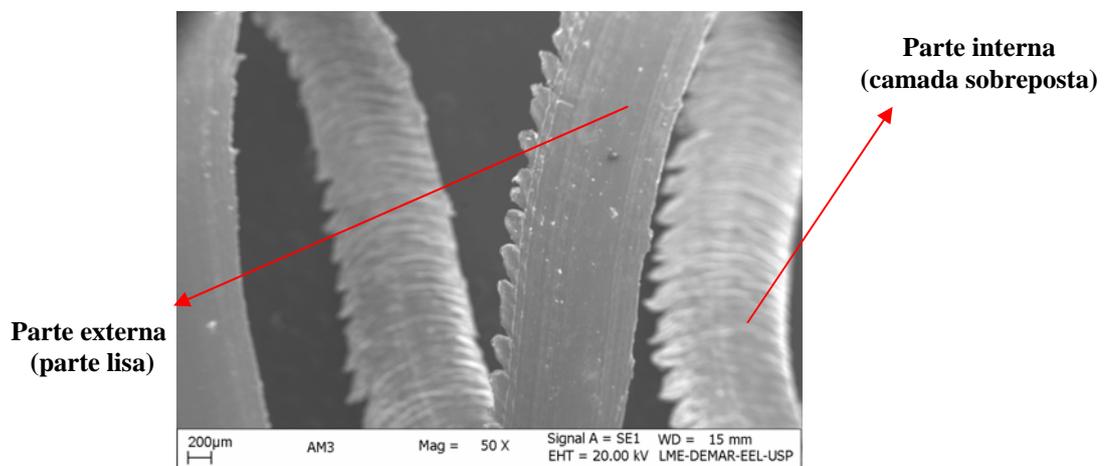
Por meio da Figura 2 pode-se observar as características resultantes do processo proposto. Os cavacos obtidos foram do tipo contínuo, como já era esperado para aços inoxidáveis austeníticos, devido à alta ductilidade do material, as velocidades

de corte adotadas na usinagem (superiores a 60 m/min). A forma dos mesmos foi helicoidal, pois os cavacos se dobraram lateralmente, formando um cavaco que não se quebra com facilidade, provavelmente isto ocorreu devido à pequena relação entre profundidade de corte e raio de ponta da ferramenta ( $a_p/r$ ), comprovado por Diniz et al.<sup>(1)</sup>



**Figura 2.** Tipos de cavacos obtidos no processo de usinagem do Inox ABNT 304.

A imagem da Figura 3 foi formada em MEV, que por meio dessa ampliação ajuda a ter uma visão das camadas sobrepostas internamente pela parte lisa do cavaco provocadas pelo próprio mecanismo de formação.

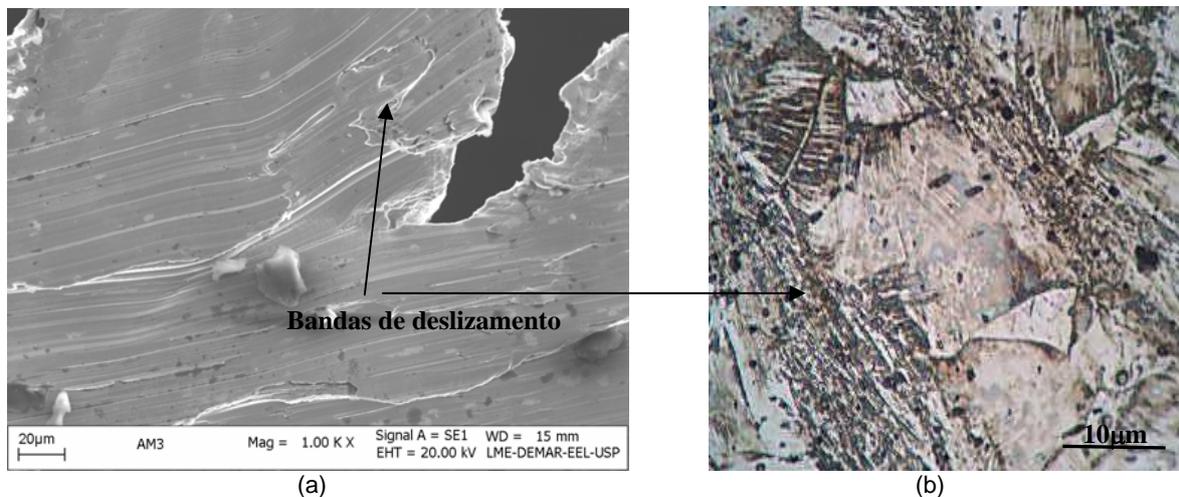


**Figura 3.** Morfologia do Cavaco ( $V_c = 175$  m/min e  $f = 0,1$  mm/r).

Pode-se ainda observar outras características na Figura 3, tais como, um aspecto morfológico de forma “serrilhada” nas bordas, resultado das sobreposições dinâmicas das porções recalçadas na ponta da ferramenta. A parte externa por assim dizer aparece de forma lisa um “filme” de material, pois, é o resultado do processo de corte da saída do cavaco, ou seja, do atrito ou arraste do cavaco contra a superfície de saída do inserto (Figura 4).

A parte interna são as camadas sobrepostas e periódicas do processo de corte, morfologia inerente de materiais dúcteis. Essas regiões recalçadas apresentam grandes deformações, logo poderemos ter regiões com bandas de deslizamentos próximas as camadas separadas. Isto se deve ao fato da ocorrência de movimentos rápidos e altamente dinâmicos das discordâncias encruando o material local, e na

qual a energia se torna altamente saturante e não mais absorvida e assim separando as porções, demonstrando realmente o mecanismo de formação dos cavacos contínuos.



**Figura 4.** Bandas de deslizamento na região de recalque nos cavacos. (a) Detalhe das bandas de deslizamento entre as zonas de recalque através de microscopia eletrônica de varredura; e (b) Detalhe das bandas de deslizamento através de microscopia óptica.

Outro aspecto observado na usinagem foi o comprimento dos cavacos. Nesta análise verificou-se que ao se comparar diferentes velocidades de corte e mesmo avanço, os comprimentos dos cavacos tiveram pequenas variações. Porém, com velocidade constante e avanço variável de 0,10 mm/r para 0,15 mm/r, houve uma redução no comprimento dos mesmos. Este fato pode ser observado por da Figura 5. Esta redução no comprimento dos cavacos pode ser explicada segundo Ferraresi,<sup>(1)</sup> pela Equação 1 da força de corte e Equação 2, respectivamente.

$$P_c = K_s \cdot S \quad (1)$$

Onde,  $K_s$  é a pressão específica de corte, isto é a força de corte para a unidade de área de secção de corte; e  $S$  é a área da secção de corte.

A área da secção de corte é dada pelo produto da profundidade de corte ( $a_p$ ) com o avanço ( $f$ ).

$$S = a_p \cdot f \quad (2)$$

Manteve-se a mesma profundidade de corte, e aumentou-se o avanço, logo obteve-se o aumento da área da secção de corte, provocou assim uma redução da pressão específica de corte. O aumento do avanço também diminui o grau de recalque e fez com que a energia no rompimento do cavaco se torne menor, e como consequência pode-se ter a quebra do mesmo mais rapidamente.

Existe uma relação aproximada entre a tensão de cisalhamento na ruptura do material ( $\tau$ ), entre o grau de recalque e a pressão específica de corte (Equação 3).

$$K_s \cong k \cdot \tau \cdot R_c \quad (3)$$

Onde,  $k$  é a constante; e  $\tau$  é a tensão de cisalhamento limite, dada num ensaio de torção (varia conforme material).

### 3.2 Análise dos Parâmetros de Usinagem

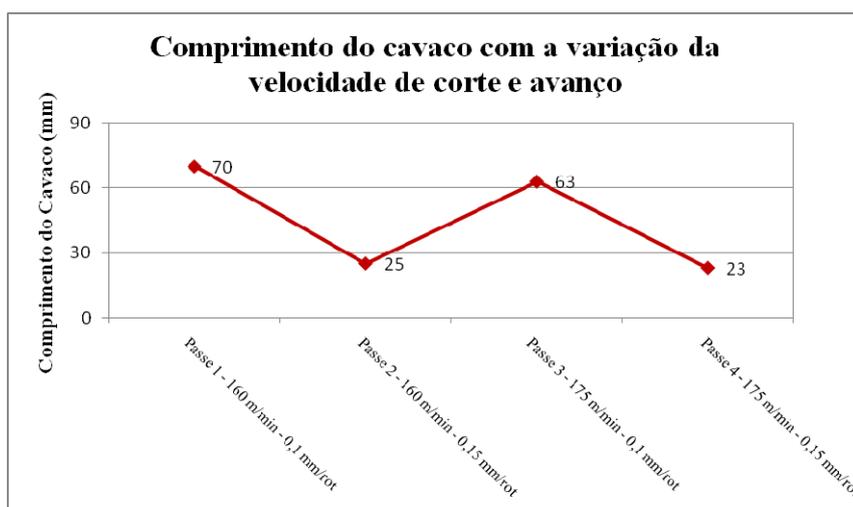


Figura 5. Gráfico de variação do comprimento do cavaco em função da velocidade de corte e avanço.

Os valores de rugosidade foram analisados por média (Figura 6). Para os dois primeiros passes de usinagem, mantivemos constante a velocidade de corte em 60 m/min e observou-se o comportamento da rugosidade média com o aumento do avanço de 0,10 mm/rot para 0,15 mm/rot, no terceiro passe, aumentou-se a velocidade de corte para 175 m/min, com avanço de 0,1 mm/rot, ou seja, mesmo avanço do passe 1, o quarto passe obteve-se com a mesma velocidade de corte do passe 3, porém, aumentando o avanço para 0,15 mm/rot. Em todos os passes realizados foi utilizado a mesma profundidade de corte (2 mm). Os parâmetros de usinagem podem ser acompanhados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros utilizados na usinagem

	Condições de corte			Rugosidade média - Ra ( $\mu\text{m}$ )			
	$v_c$ (m/min)	$f$ (mm/r)	$a_p$ (mm)	início	centro	extremidade	Média
Passe 1	160	0,1	2	1,157	1,331	1,358	1,282
Passe 2	160	0,15	2	1,908	2,008	1,912	1,943
Passe 3	175	0,1	2	1,620	1,510	1,448	1,526
Passe 4	175	0,15	2	1,545	1,611	1,531	1,562

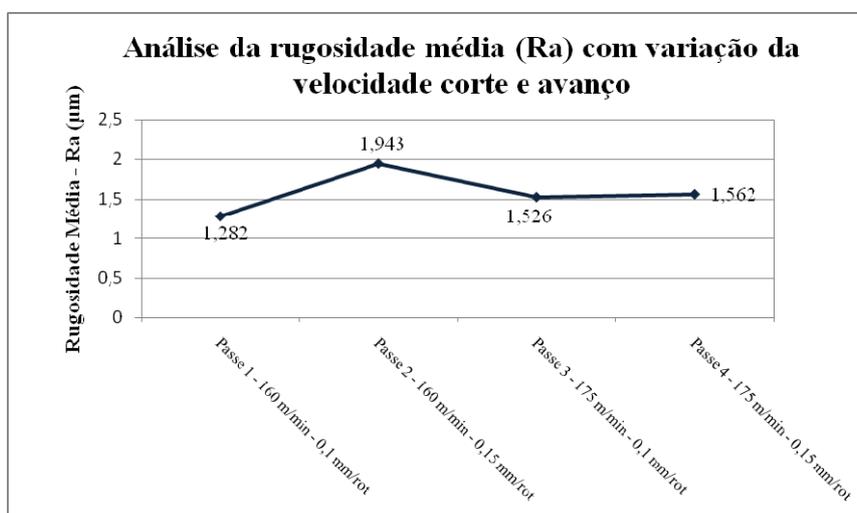
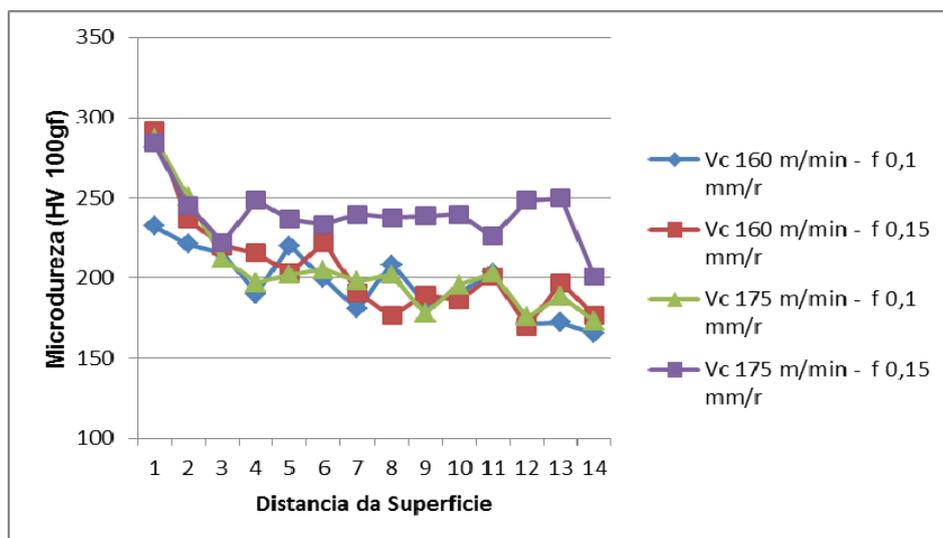


Figura 6. Variação da rugosidade média em função da velocidade de corte e avanço.

Pode-se observar que o aumento do avanço é claramente acompanhado por um aumento crescente no valor da rugosidade quando se comparam os passes 1 e 2. Conforme Risbood,<sup>(4)</sup> o aumento da rugosidade está associado ao aumento do avanço, pois a distância entre picos e vales produzidos na superfície da peça também aumenta, elevando os valores de rugosidade. Além disso, o aumento do avanço eleva a área da seção de corte, fazendo com que aumente a força necessária para usinar o material, com isso as vibrações do sistema prejudicam o acabamento da peça. Para os resultados obtidos nos passes 3 e 4, verificou-se também que houve um aumento da rugosidade ao aumentarmos o avanço, ou seja, obteve-se o mesmo resultado ao comparar os passes 1 e 2.

A variação da rugosidade média do passe 3 para o 4, foi de 0,036 micrometros, este valor foi menor que o encontrado do passe 1 para o 2, onde obteve-se 0,661 micrometros de variação, isso fez perceber que ao aumentar a velocidade de corte, mantendo as mesmas variações de avanço, o mesmo passa a influenciar menos a qualidade superficial da peça, e a velocidade de corte passa a ser a principal responsável pela redução da rugosidade, pois com o aumento da mesma, a rugosidade tende a reduzir após certo período de tempo, e as vibrações do sistema são reduzidas, que permite melhor acomodação da ferramenta na peça.

Por meio do gráficos das Figura 7 onde estão relacionados os valores de microdureza, pode-se notar que essas medidas estão decrescendo na medida em que se distancia da superfície, porém não se estabilizaram à medida que a distancia da extremidade aumentou. Possivelmente isso deve ter ocorrido pela presença de inclusões existentes no material, pois através da microestrutura do aço inoxidável austenítico utilizado, verificou-se que o mesmo possui inclusões e segundo Padilha e Guedes,<sup>(3)</sup> essas inclusões ocupam posições intersticiais na rede cristalina da austenita, tais como o nitrogênio e o carbono, formam soluções sólidas intersticiais e causam notável endurecimento. Essas inclusões também chamadas de nitretos possuem estrutura hexagonal Cr<sub>2</sub>N. O fato dos valores de microdureza não terem se estabilizado a partir de certa medida possivelmente devido ao calor do atrito entre a ferramenta e a peça, impossibilitou identificar a dimensão da camada endurecida, possivelmente fazer uma correlação com as diferentes condições de usinagem aplicadas, no entanto foi feito análises entre a microdureza próxima à superfície usinada e a rugosidade (Figure 8).



**Figura 7.** Microdureza média medida da proximo a extremidade ao centro a cada parâmetro de usinagem.

Na Figura 8 correlacionou-se a rugosidade média com a microdureza próxima a superfície da peça, verificou-se que a variação de microdureza a partir do aumento da velocidade de corte, passou a ser menor, tendendo a ser constante.

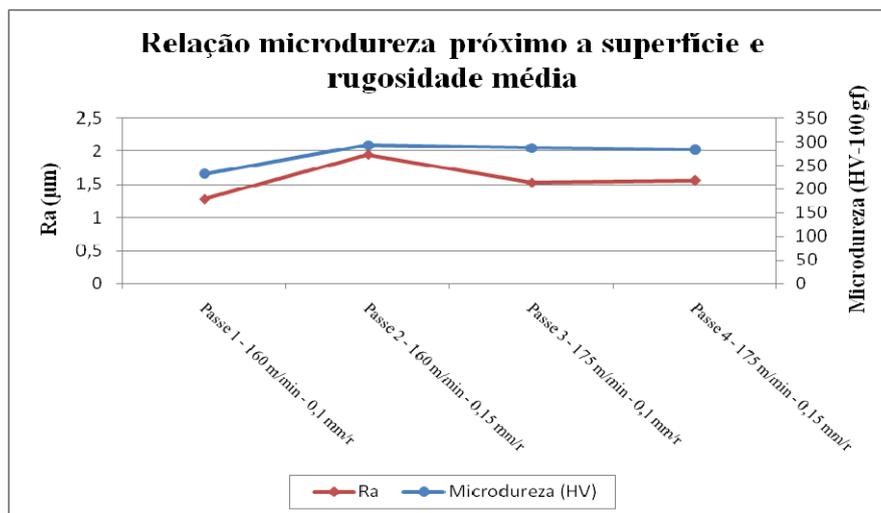


Figura 8. Comparação da rugosidade e microdureza média medida próxima à superfície até o centro.

Com velocidade de corte 160 m/min e avanço 0,15 mm/r, houve uma tendência a um aumento de Ra (rugosidade média) e da microdureza, logo estes parâmetros não seriam adequados numa situação onde se deseja melhor acabamento e menor dureza superficial, percebe-se desta forma que a variável mais importante a ser estudada é o avanço, considerando sua fundamental contribuição mecânica no encruamento durante a usinagem de aços. Estes resultados foram os mesmos encontrados por Paro, Hänninen e Kauppinen,<sup>(5)</sup> durante operações de fresamento. Saii, Salah e Lebrun<sup>(6)</sup> também confirmam esta hipótese e afirmam que o aumento do contato peça-ferramenta e da espessura do cavaco, além dos efeitos térmicos que o avanço provoca também induz maiores valores para a microdureza e conseqüentemente rugosidade mais alta, conforme pode ser observado.

#### 4 CONCLUSÃO

Pela análise dos resultados apresentados neste artigo, pode-se concluir que:

- o tipo de cavaco foi contínuo devido à ductilidade do aço inoxidável ABNT 304 e a velocidade de corte utilizada, já a forma dos mesmos foi helicoidal devido a pequena relação entre a profundidade de corte e raio da ferramenta;
- o comprimento dos cavacos foi influenciado pelo avanço, este por sua vez afetou a pressão específica de corte e o grau de recalque;
- o principal responsável pelo aumento da rugosidade no início do processo foi o avanço, porém com o aumento da velocidade de corte o mesmo passou a ter pequena influência na rugosidade e a velocidade de corte fez a rugosidade reduzir;
- os valores de microdureza medidos na seção transversal da peça após a usinagem reduziram-se da superfície ao centro, porém, não estabilizaram devido à presença de inclusões no material;
- o avanço foi a variável mais relevante no aumento da microdureza próxima a superfície nos dois primeiros passes de usinagem;

- o aumento da velocidade de corte no terceiro e quarto passe diminuiu a relevância do avanço na variação da microdureza na superfície;
- o comportamento da microdureza e da rugosidade foram semelhantes em todos os parâmetros de usinagem; e
- para se obter um melhor acabamento superficial e diminuição da microdureza, o aumento do avanço é prejudicial, porém, se analisarmos levando em conta o comprimento do cavaco torna-se benéfico.

## REFERÊNCIAS

- 1 Ferraresi, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977
- 2 Diniz, A.E. et al. **Tecnologia da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Art Liber, 2000.
- 3 Padilha, A.F. Guedes, L.C., **Aços Inoxidáveis Austeníticos**. 1. ed. São Paulo: Hemus, 1994. 164 p.
- 4 Risbood, K. A. **Prediction of Surface Rroughness and Dimension Deviation by Measuring Cutting Forces and Vibrations in Turning Process**, Journal Materials Processing Technology. Guwahati, India. v. 132, n 1, pp. 203-214(12), 2003.
- 5 Paro, J. Hänninen, H. Kauppinen, V. **Tool Wear and Machinability of Hiped p/m and Conventional Cast Duplex Stainless Steels**, Wear, Finland. v.249, pp.279-284, 2001.
- 6 Bouzid Saï, W. Ben Salah, N. Lebrun, J. L. **Influence of Machining by Finishing Milling on Surface Characteristics**. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Paris. v.41, pp.443-450, 2001.