

Análise comparativa no torneamento do aço inox aisi 304 utilizando diferentes métodos de aplicação de fluido**Comparative analysis in turning aisi 304 stainless steel using different fluid application methods**

DOI:10.34115/basrv4n6-023

Recebimento dos originais: 26/10/2020

Aceitação para publicação: 26/11/2020

Arthur Eric BachmannCentro Universitário de Anápolis – UniEvangélica
arthur.bachmann@gmail.com**William Luiz Oliveira**Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica
williamautopecas@gmail.com**Sérgio Mateus Brandão**Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica
sergio.brandao@unievangelica.edu.br**RESUMO**

As diversas finalidades que são destinados aos aços inoxidáveis crescem a cada dia. Porém sua utilização é mais indicada em situações onde há químicos corrosivos combinados com esforços mecânicos. O objetivo deste trabalho é determinar as condições de usinagem para a produção de peças em aço inoxidável AISI 304 empregando os métodos de usinagem abundante e a seco. Os métodos utilizados atualmente consomem grande quantidade de fluido de corte e necessitam de um sistema de pressurização. Nesse contexto ressurgem a usinagem a seco como opção para economia ou até a eliminação do fluido de corte. Um dos parâmetros para análise da eficácia deste método é a temperatura. Utilizando um sensor de temperatura instalado no porta ferramentas de uma máquina com comando numérico computadorizado e com o auxílio do software Arduino que recebe os dados enviados pelo sensor de temperatura. Diante disso foi feita a leitura e plotados gráficos dos experimentos. Analisou-se que o método de usinagem a seco tem resultados satisfatórios comparados ao método abundante, indicando que há possibilidades de usinagem a seco em larga escala. As vantagens englobam economia de fluido de corte, menor agressão ao meio ambiente e ao operador da máquina, podendo se concluir que o método de usinagem a seco se torna eficiente devido a sua forma sustentável, econômica e sem perda na qualidade superficial.

Palavras-chave: Usinagem, Fluido de Corte, Aço Inoxidável, Sustentabilidade.**ABSTRACT**

The various purposes that are intended for stainless steels grow every day. However, its use is more indicated in situations where there are corrosive chemicals combined with mechanical efforts. The objective of this work is to determine the machining conditions for the production of AISI 304 stainless steel parts using abundant and dry machining methods. The methods used today consume a large amount of cutting fluid and require a pressurization system. In this

context, dry machining resurfaces as an option for saving or even eliminating the cutting fluid. One of the parameters for analyzing the effectiveness of this method is the temperature. Using a temperature sensor installed in the tool holder of a machine with computerized numerical control and with the aid of the Arduino software that receives the data sent by the temperature sensor. Therefore, the experiments were read and plotted graphs. It was analyzed that the dry machining method has satisfactory results compared to the abundant method, indicating that there are possibilities for large scale dry machining. The advantages include cutting fluid savings, less aggression to the environment and to the machine operator, and it can be concluded that the dry machining method becomes efficient due to its sustainable, economical shape and without losing surface quality.

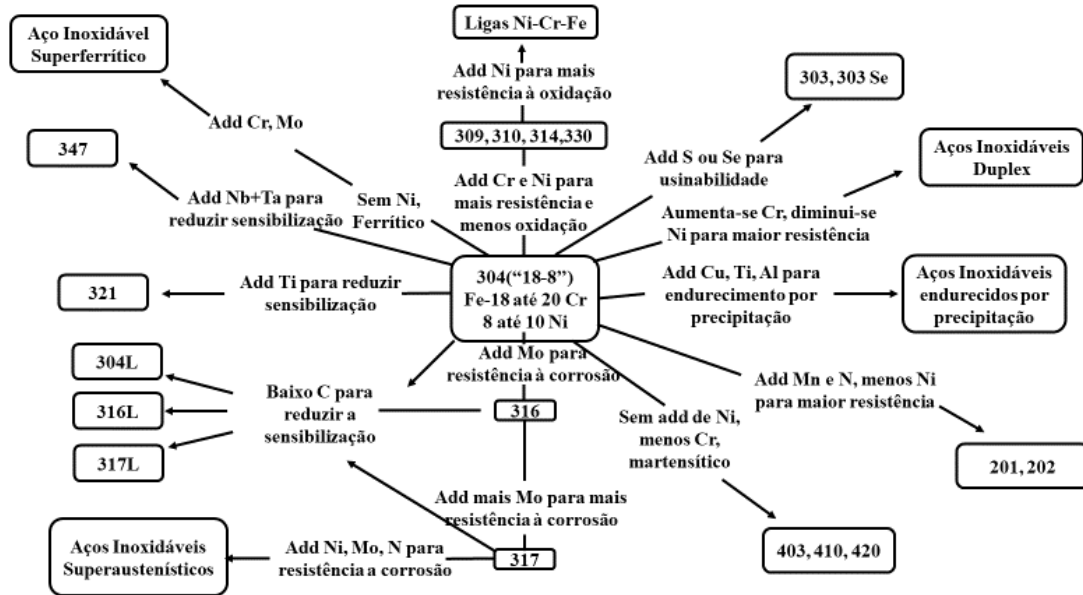
Keywords: Machining, Cutting Fluid, Stainless steel, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A percepção de que o cromo tem mais afinidade ao oxigênio que o ferro foi observado no começo do século 20 por metalurgistas. Assim, o cromo foi incluído ao aço. Estudos então provaram que a adição de pelo menos 10% de cromo a aço, ele se liga ao oxigênio formando uma camada extremamente fina e transparente sobre o aço, que protege o aço da ferrugem pois impede a oxidação adicional. Essa camada transparente é auto-regeneradora quando sofre alguma ruptura[1]. O Carbono é normalmente presente em porcentagens de 0,03% até 1.0% em certos casos[2]. Essas propriedades popularizaram rapidamente o aço inoxidável.

Historicamente, os aços inoxidáveis têm sido classificados pela microestrutura e são descritos como austeníticos, martensíticos, ferríticos e duplex (austenítico e ferrítico). Ainda uma quinta família, aços endurecíveis por precipitação (PH), é baseada no tipo de tratamento térmico que é usado e não na microestrutura [2]. A figura abaixo demonstra os vários tipos de Aços Inoxidáveis e suas classificações:

Figura 1: Ramificações do Aço Inoxidável.



Fonte: [1] Alloy Digest Sourcebook: Stainless Steels, ASM International 2001;

Aço inoxidável Cromo - Níquel, com uma baixíssima percentagem de carbono: $<0,07\%$. Esta circunstância confere-lhe uma resistência à corrosão inter-cristalina (destruição do grão, por corrosão) superior à dos normais aços inoxidáveis tipo 18/8 [3]. Na tabela 1 temos os dados e propriedades desse material:

Tabela 1 – Composição química do Aço Inoxidável AISI 304;

COMPOSIÇÃO QUÍMICA %							
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	N
$\leq 0,07$	$\leq 1,00$	$\leq 2,00$	$\leq 0,015$	$\leq 0,045$	17,0 - 19,5	8,00 - 10,5	$\leq 0,11$

Fonte – Rol Metais;

Os aços Inoxidáveis austeníticos constituem a maior família de aços inoxidáveis em números de ligas e em uso. São aços das séries 200 e 300. Em geral contêm de 16 a 26% de Cr, 10 a 22% de Ni e poucas concentrações de outros elementos como molibdênio, titânio, nióbio e nitrogênio [2]. A exemplo dos ferríticos, não são endurecíveis por tratamento térmico. As ligas austeníticas apresentam uma estrutura cúbica de face centrada (cfc), são não-magnéticas na condição recozida e podem ser substancialmente endurecidas pelo trabalho a frio. Normalmente, possuem excelentes propriedades criogênicas e resistências mecânica e à corrosão em altas temperaturas [4]. Estes aços são usados em uma larga variedade de aplicações como em acessórios de cozinha, esportivos, equipamentos de transporte de baixo peso, partes de fornos e componentes para severos ambientes químicos [5].

É fato comprovado que a usinagem do aço inoxidável austenítico é uma operação difícil. Essas melhorias na estrutura dão mais resistência à corrosão, porém dificultam a usinagem [6].

Os problemas mais recorrentes são a formação da aresta postiça de corte, alta rugosidade, formação de rebarba e má formação do cavaco [7].

O endurecimento durante a usinagem e a baixa condutividade térmica são considerados responsáveis pela baixa usinabilidade de aços inoxidáveis austeníticos [8]. Ambos problemas são intrínsecos. É recomendado que a velocidade de corte seja aumentada para que se obtenha uma temperatura superior à da área de formação desta aresta indesejável (acima da temperatura de recristalização do material da peça, a fim de se evitar o encruamento e, assim, evitar uma forte coesão entre esta aresta e a ferramenta) [4]. Esse problema é solucionado aumentando a profundidade de corte e diminuindo a velocidade de corte. Porém, no ponto de vista produtivo, a diminuição da velocidade de corte é prejudicial.

A capacidade de condução térmica desempenha um papel importante no corte de metais: quanto maior for a parte do calor originário da zona de corte eliminado junto com os cavacos, melhor é o processo. O aço inoxidável, porém, tem uma capacidade de condução térmica ruim, deixando mais calor na zona de corte, aumentando a tendência a um maior desgaste da ferramenta e o risco de haver deformação plástica das arestas de corte, particularmente em processos de corte contínuo [9]. Enquanto um aço carbono comum tem condutividade térmica perto de 50 W/m°C, um aço inoxidável ferrítico tem este valor próximo a 20 W/m°C e um austenítico na casa de 10 W/m°C [10]. Essa característica faz com que o calor se concentre na interface de cisalhamento, uma vez que o material não dissipa o calor [11]. O vapor gerado ao redor das superfícies quentes na ferramenta e cavaco impede efetivamente o fluido de resfriar a zona de corte e dissipar o calor gerado [12].

Portanto, para vencer essa camada de vapor é necessário aumentar a pressão de saída do fluido de corte. Para atingir uma redução de 40 a 45% da temperatura é necessário quebrar a camada de vapor utilizando jatos de 25 a 300 Mpa [12]. Porém, alta pressão em usinagem abundante significa também alta vazão. Assim há um gasto em excesso do fluido de corte o que impacta o custo do processo e principalmente o meio ambiente. Os custos referentes aos fluidos de corte, o perigo à saúde do operador e a crescente severidade da legislação quanto aos descartes industriais, têm pressionado as indústrias a reverem suas produções, compatibilizando-as com as exigências da sociedade [13].

A usinagem a seco é economicamente viável e ecologicamente correta. Diante das preocupações ambientais provocadas pela utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem, forte ênfase hoje é dada a tecnologias ambientalmente corretas que visem à preservação do meio ambiente e em conformidade com normas ambientais, como ISO 14000, TRGS, EPA (EUA), Diretivas EC (União Européia), GefStoffV (Alemanha), entre outras [13].

Em um futuro breve será obrigatória para empresas do ramo se adequem devido às leis de proteção ambiental e saúde ocupacionais. As vantagens da usinagem a seco incluem: não-polução da atmosfera (ou água); cavaco livre de resíduos que reduzirá custos de descarte; sem perigo à saúde; não agride a pele nem produz alergia[14]. O cavaco obtido já está seco e pronto para ser vendido ou reciclado, ao contrário do cavaco molhado que requer processamento e filtração [15]. Como aspectos positivos do corte sem fluido pode-se citar a diminuição do choque térmico, a diminuição das trincas e dos lascamentos principalmente no corte interrompido [16]. Nesse contexto, esse estudo propôs e executou a usinagem a seco dos corpos de prova. E para efeitos de comparação, também a refrigeração abundante convencional.

A estimativa de temperatura é um dos procedimentos mais difíceis e complicados nas operações de corte de metal. Devido à complexidade dos vários eventos que ocorrem na interface entre a ferramenta e a peça, desenvolver um modelo para medir a temperatura é um processo extremamente difícil. Consequentemente, a previsão precisa e repetível da temperatura ainda permanece um desafio devido a esta complexidade dos fenômenos de contato entre as peças em movimento [17].

Termopares convencionais inseridos na ferramenta de corte ou no corpo de prova podem ser utilizados para medir a temperatura em um ponto específico ou em pontos diferentes a fim de mapear a distribuição da temperatura na ferramenta. Eles também podem ser posicionados na interface de corte, entre a ferramenta intercambiável e o porta-ferramentas. Termopares convencionais são de fácil acesso, baratos e são feitos com diferentes tipos de isolamento dependendo da aplicação [18]. A leitura da temperatura através de um termopar acontece pelo princípio de que se dois metais diferentes são unidos por duas junções e se essas junções estiverem com temperaturas diferentes, existirá uma força eletromotriz (fem) entre as peças. A fem gerada será em função do material e da temperatura das junções [19].

Durante o corte de metal, a magnitude da temperatura na aresta de corte é um parâmetro da função do corte. Essa temperatura afeta diretamente a produção. O calor gerado durante a usinagem promove muitos eventos, incluindo a vida da ferramenta, formação de cavaco, qualidade superficial, forças de corte. O ponto máximo de calor ocorre na interface ferramenta – cavaco. Portanto, a usinabilidade pode ser melhorada através do monitoramento da temperatura de corte da ferramenta [19]. A temperatura e a rugosidade serão os indicadores utilizados para controle e monitoramento dos resultados. Portanto foi dado foco para a análise destas variáveis de acordo com cada experimento.

Considerando todos os fatos supracitados, o presente trabalho tem por objetivo definir o método mais adequado para a usinagem do aço inoxidável AISI 304 entre usinagem abundante e a seco.

2 METODOLOGIA

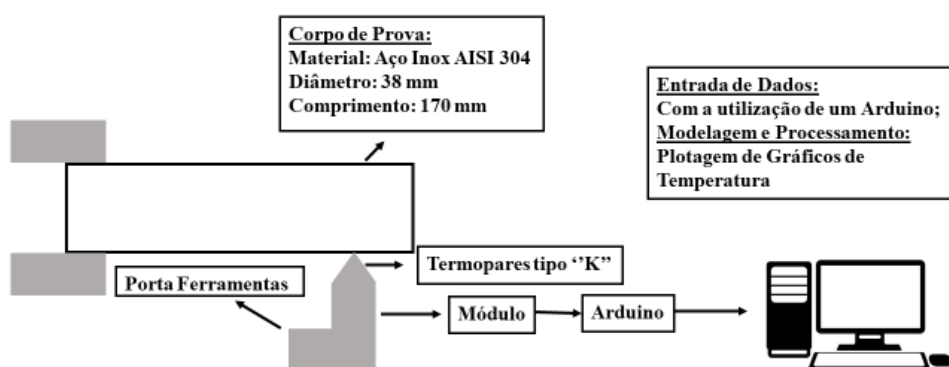
2.1 MATERIAIS

Serão descritos a seguir os materiais que foram utilizados na operação de torneamento do aço inoxidável AISI 304 austenítico. Foi utilizado um torno CNC Romi Century 30D e a ferramenta de corte escolhida foi do tipo Metal Duro modelo M, recomendada para este tipo de usinagem pois a classe M também é conhecida como “a classe dos aços inoxidáveis”, tendo em vista a sua maior aplicação na usinagem dos aços inoxidáveis austeníticos [20].

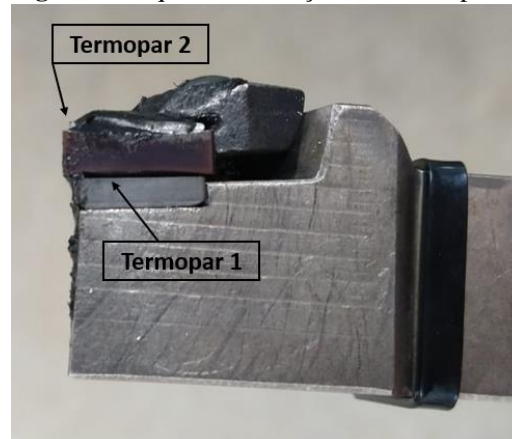
A avaliação da rugosidade foi realizada com auxílio de um rugosímetro Starret modelo Sr 100. Como existem diversas organizações que determinam o método ideal para a avaliação da rugosidade, o método adotado segue os padrões determinados pela NBR ISO 4287 (2002).

A temperatura foi analisada com o auxílio de dois termopares do tipo J que foram instalados nas extremidades superior e inferior da ferramenta de corte conforme a figura 3. O termopar foi conectado a um amplificador de sinal próprio para o tipo de termopar. Uma vez amplificado o sinal, é enviado para um Arduino Mega. O Arduino dentre várias opções, gera um serial da temperatura que está sendo enviada pelo módulo. Conforme figura:

Figura 2: Representação do experimento;



Fonte – Dos Autores;

Figura 3: Esquema de fixação dos Termopares;

Fonte – Dos Autores;

2.2 MÉTODOS

Para execução do experimento científico foram adotados alguns procedimentos em caráter igualitário para todos os corpos de prova. Adotaram-se medidas de acordo com o SI para uma maior garantia quanto a padronização de todas as peças.

Os corpos de prova foram cortados em comprimento igual a 170 milímetros e foi mantido o diâmetro de 38 mm de fábrica. Os corpos de prova foram então separados em 5 unidades por lote e classificados dentro do mesmo para uma identificação posterior. Os lotes foram divididos em 2 grupos, sendo que no primeiro lote estarão os corpos de prova que serão usinados sem a utilização de fluido de corte, a usinagem a seco. No segundo lote estarão os corpos de prova que serão usinados com o método de aplicação de fluido de forma abundante. O método de separação e classificação dos lotes pode ser observado na tabela abaixo:

Tabela 1: Divisão das peças e ferramentas;

Divisão dos Corpos de Prova	Método	Ferramenta 1	Ferramenta 2
Lote 1	A Seco	5 Pç	
Lote 2	Abundante		5 Pç

Fonte – Dos Autores;

Todas as ferramentas que foram utilizadas possuíam as mesmas características de fabricação recomendadas para usinagem do aço inoxidável AISI 304.

Após o corte e separação de todos os corpos de prova, foi dado início ao procedimento. A usinagem foi realizada em dois tempos, sendo que no primeiro foi realizado as operações de desbaste e no segundo a operação de acabamento. O tempo de usinagem foi de 5 minutos e 25

segundos por peça. Foram utilizados os mesmos parâmetros para todas as peças. Os parâmetros de usinagem foram adotados de acordo com as recomendações do fabricante:

Tabela 2: Divisão das peças e ferramentas;

Parâmetros de Usinagem	Desbaste	Acabamento
Profundidade - A_p	1,5 mm	1 mm
Velocidade de Corte - V_c	220 m/min	140 m/min
Avanço - f	0,150 mm/rot	0,05 mm/rot
Rotação	2000 rpm	3000 rpm

Fonte – Dos Autores;

Para analisar a rugosidade, como parâmetro para o acabamento superficial, foi utilizado o rugosímetro, e que recebeu calibração imediatamente antes do início do procedimento experimental. As medidas de rugosidade foram realizadas na posição perpendicular às marcas de avanço ao longo da peça. Foram feitas 3 leituras por peça.

Para a realização do procedimento que foi adotado para a mensuração da temperatura de corte, o sistema de termopares e Arduino alimentará o computador com a temperatura lida. Os dados recebidos em valores da temperatura na zona de corte foram analisados e calculadas as médias referentes a cada processo. Também foi feita a leitura da potência do torno através do software da própria máquina ferramenta. Assim, foi calculada a potência média consumida para cada método.

Após colhidos, todos os dados foram plotados gráficos, que ajudaram a avaliar os efeitos do fluido de corte durante a usinagem do material.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Afirma-se que a temperatura de corte é considerada uma das grandezas mais influentes no processo de usinagem [15]. É um dos parâmetros de saída mais importantes da usinagem e um dos mais difíceis de mensurar. Os ensaios mostraram a eficiência do método termopar utilizado para dimensionar as temperaturas nas interfaces de cada corpo de prova, com ou sem aplicação de fluido refrigerante. As temperaturas obtidas sempre se aproximaram ou mesmo na maioria dos casos confirmaram exatamente a mesma temperatura que dos termômetros e sensores utilizados para atestar a temperatura demonstrada no termopar. Apesar dos ensaios realizados mostrarem que as temperaturas nas interfaces em usinagens sem aplicação de qualquer tipo de refrigeração sobre a peça e ferramenta são excessivamente mais altas, as

rugosidades colhidas demonstram que o acabamento superficial é satisfatório. A análise da variação de calor na ferramenta é importante por ser uma das causas de fadiga na ferramenta. O uso do fluido aumenta a variação térmica e, portanto aumenta a probabilidade de ocorrência desse tipo de trincas, as quais podem provocar o lascamento do gume da ferramenta [22].

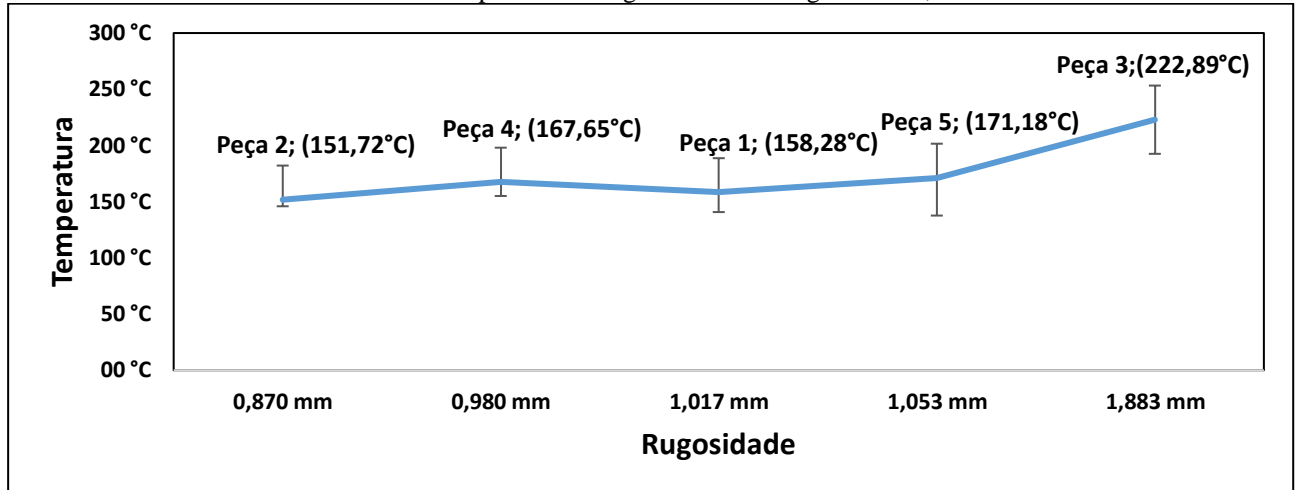
A rugosidade de uma superfície é composta de irregularidades finas de erros microgeométricos resultantes da ação inerente ao processo de corte (marcas de avanço, aresta postiça de corte e desgaste das ferramentas). De fato, a rugosidade de uma superfície depende de vários parâmetros, como máquina ferramenta, propriedades de material da peça, geometria e material da ferramenta e operação de usinagem. Os desvios dimensionais, de forme e orientação, são mais fáceis de medir e controlar e dependem principalmente da natureza da operação e da rigidez da máquina ferramenta [21]. No presente trabalho todos parâmetros de entrada foram mantidos sem modificação para os dois métodos de usinagem. Portanto, a leitura da temperatura comparada com a rugosidade de cada peça permite uma análise pontual e demonstração gráfica.

Durante a formação do cavaco, o movimento da ferramenta em relação à peça faz com que a cunha cortante exerça um esforço de penetração na peça, que responde a este esforço, fazendo aparecer um sistema de forças atuando na cunha de corte, que geram tensões [5]. Um dos aspectos mais observados na usinagem é o custo. A potência consumida pelo torno está diretamente proporcional ao custo. Portanto é um dos aspectos chave.

3.1.1 Temperatura X Rugosidade – Usinagem A Seco:

O gráfico 1 mostra a comparação realizada entre temperatura e rugosidade durante a usinagem a seco utilizando-se das médias das temperaturas dos termopares 1 e 2 e das respectivas rugosidades médias de cada peça. Como mencionado anteriormente, a rugosidade depende de vários fatores. No experimento da usinagem a seco os parâmetros de usinagem não foram alterados conclui-se então que a temperatura é diretamente proporcional à rugosidade. Fazendo-se uma comparação entre a peça com melhor qualidade e a peça mais rugosa, observou-se que para um aumento de 68% da temperatura a rugosidade também aumentou em 46%.

Gráfico 1 – Temperatura x Rugosidade – Usinagem a seco;

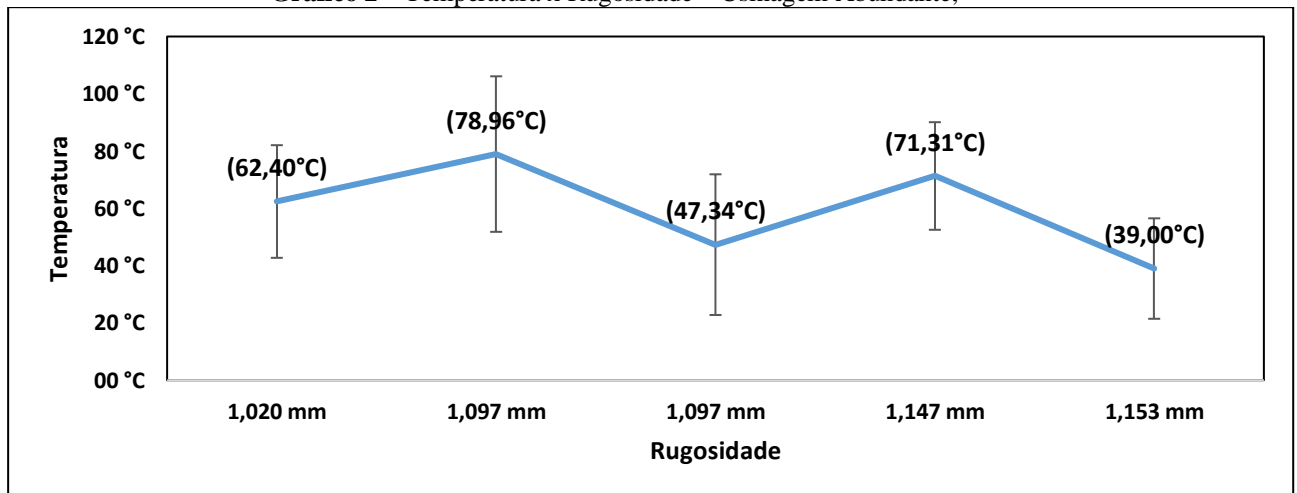


Fonte: Dos Autores;

3.1.2 Temperatura X Rugosidade – Usinagem Abundante:

O gráfico 2 mostra a comparação realizada entre temperatura e rugosidade durante a usinagem abundante utilizando-se das médias das temperaturas dos termopares 1 e 2 e das respectivas rugosidades médias de cada peça. Ao contrário da usinagem a seco não se observou proporcionalidade direta entre a temperatura e a rugosidade. Isso se deve, entre outros fatores, à maior variação de temperatura durante a usinagem. Esse aspecto será abordado nos gráficos 3, 4.

Gráfico 2 – Temperatura x Rugosidade – Usinagem Abundante;



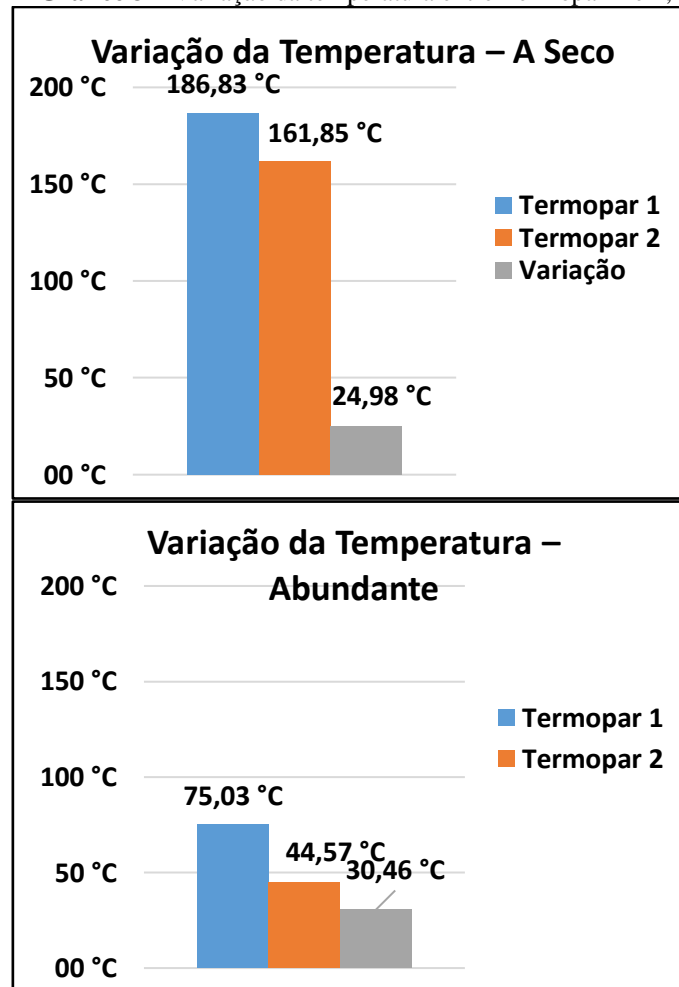
Fonte: Dos Autores;

3.2 VARIAÇÃO DA TEMPERATURA ENTRE TERMOPAR 1 E 2:

Apesar das altas temperaturas o processo de usinagem sem refrigeração na interface, apresenta uma variação em cerca de 6% menor que no processo que se utiliza da refrigeração

em caráter abundante. O processo de aplicação de fluido abundante reduziu em média 73% nas temperaturas de corte coletadas na parte superior da interface e em aproximadamente 60% na parte inferior da ferramenta em relação ao processo a seco. Na usinagem abundante o valor da variação é maior devido o fluido de arrefecimento ser aplicado na face superior da ferramenta, localização do termopar 2.

Gráfico 3 – Variação da temperatura entre Termopar 1 e 2;

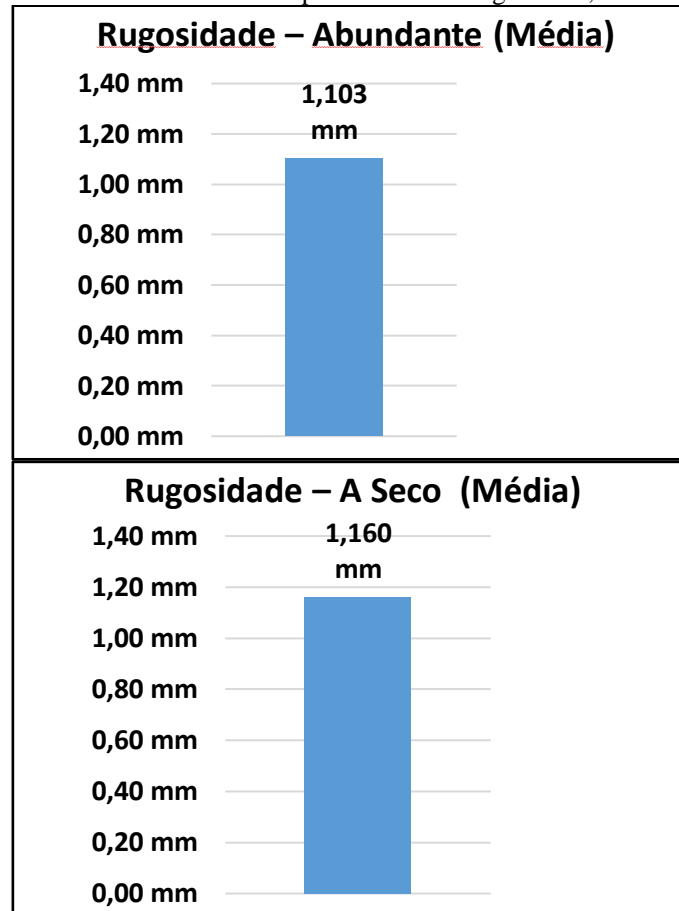


Fonte: Dos Autores;

3.3 COMPORTAMENTO DA RUGOSIDADE:

O gráfico 4 demonstra a média das rugosidades de todos os corpos de prova, separados pelo método de aplicação do fluido. Como pode ser observado apesar da redução em cerca de 65% das temperaturas de usinagem medidas, o aumento da rugosidade de um método para outro ficou em cerca de 5%.

Gráfico 4 – Comportamento da Rugosidade;

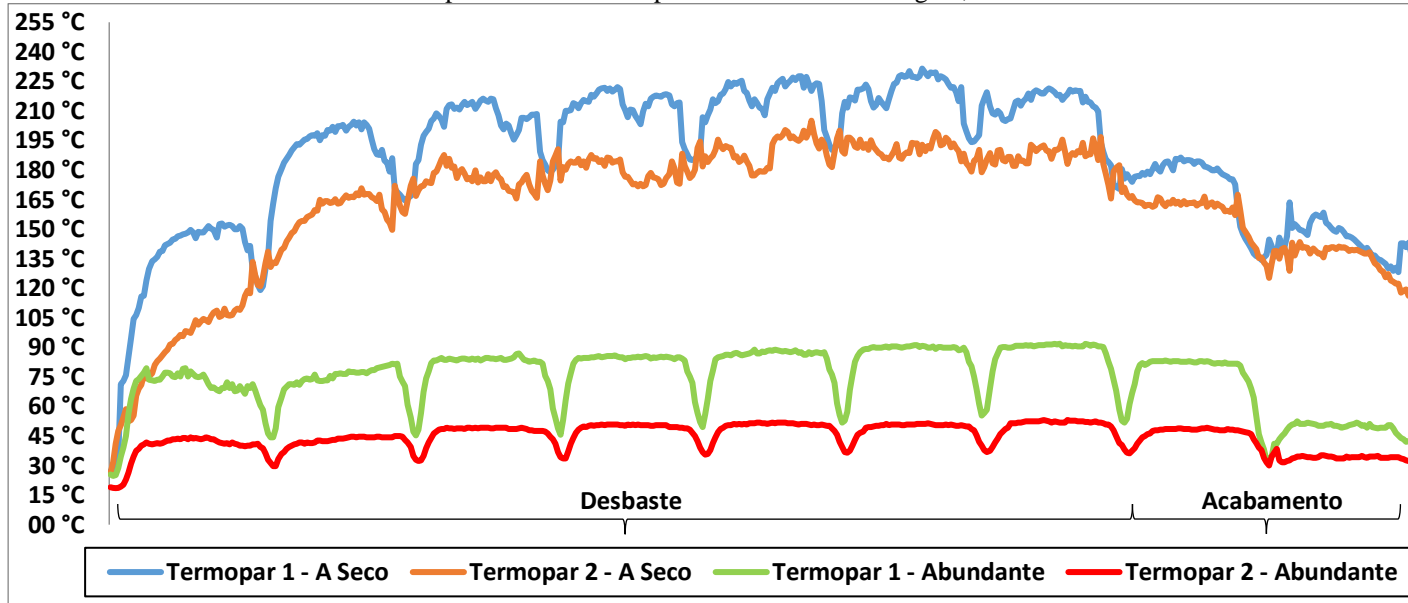


Fonte: Dos Autores;

3.4 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DURANTE A USINAGEM:

Nesse aspecto dos procedimentos, podemos visualizar no gráfico 5 bem a divisão das temperaturas superiores (termopar 2) e inferiores (termopar 1). Na usinagem a seco observou-se que as temperaturas oscilam em grau maior que na usinagem abundante. O fluido de corte oferece uma maior estabilidade de temperatura, porém com maior variação entre os passes. Foi analisado também que durante os passes de acabamento a temperatura teve um decréscimo. Nos passes de acabamento a rotação aumenta em 1000 rpm e a profundidade de corte diminui 0,5 mm. Portanto o fator que mais influencia no aumento da temperatura é a profundidade de corte.

Gráfico 5 – Comportamento da Temperatura durante a Usinagem;



Fonte: Dos Autores;

3.5 POTÊNCIA CONSUMIDA E CUSTOS:

Para efeitos de uma simulação de custos, foi calculado através da potência consumida por cada método, o custo unitário de cada peça. A usinagem abundante foi ligeiramente mais cara devido o uso da bomba hidráulica de fluido de corte. Em uma projeção de 250 peças por dia, foi mensurado também o custo diário.

Tabela 3: Custo unitário e Diário;

	Abundante	A Seco
Custo	R\$ 0,17	R\$ 0,15
Custo Diário	R\$ 41,68	R\$ 36,80

Fonte: Dos Autores;

3.6 PROTÓTIPO DIDÁTICO:

Um dos objetivos secundários deste trabalho era de montar e testar um sistema de medir a temperatura de corte no torneamento. Dentre os vários métodos utilizados mundialmente, o método dos termopares inseridos foi o mais apropriado devido melhor versatilidade de aplicação. O sistema pode ser montado em vários tipos de ferramentas de corte e possibilitará estudos mais específicos a respeito do comportamento da temperatura durante operações de usinagem.

4 CONCLUSÃO

Pode se concluir através de todos os procedimentos realizados em laboratório durante os ensaios, que a temperatura exerce um papel fundamental na qualidade e eficiência dos produtos fabricados. As temperaturas obtidas com auxílio dos termopares instalados na porta ferramenta da máquina mostraram essas altas temperaturas e o exercício do fluido de corte sobre a retirada desse calor e a qualidade da peça.

Conforme os testes realizados mostraram o ponto de maior temperatura ocorre na interface ferramenta- peça, parte desta temperatura é expelida pelo cavaco, porem a quantidade de calor que permanece sobre a peça ainda é muito grande e influência de grande forma no desgaste da ferramenta e da qualidade superficial do produto fabricado.

O método de aplicação de fluido de corte abundante ajuda a controlar as altas temperaturas no processo de usinagem, dissipando o calor juntamente com o cavaco, porem os testes realizados mostraram que quando se deseja um processo com redução nos custos da usinagem e também um método sustentável, sem perder na qualidade superficial, a usinagem a seco para o aço inoxidável AISI 304 se mostrou uma excelente alternativa, pois os testes realizados também mostraram que além de não denegrir o meio ambiente as rugosidades colhidas, com a usinagem a seco, se aproximam muito das rugosidades colhidas quando se utilizou o método abundante aumentando apenas em 5% a rugosidade média.

REFERÊNCIAS

- [1] AK S, *Stainless Steel Comparator*. West Chester, 2015.
- [2] A. International, *Alloy Digest Sourcebook: Stainless Steels*. Materials Park, 2000.
- [3] R. Metais, “Rol Metais - AISI 304.” [Online]. Available: http://rolmetais.com/ficheiros/fichas_tecnicas/FT_23_ficha_tecnica_AISI_304_Site.docx.pdf. [Accessed: 13-May-2018].
- [4] F. Teixeira Filho, “A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH,” Unesp, 2006.
- [5] V. Naves, “Usinagem do aço inoxidável austenístico ABNT 316 UF com aplicação de fluido de corte a alta pressão,” Universidade Federal de Uberlândia, 2013.
- [6] D. Peckner and I. . Bernstein, *Handbook of Stainless Steels*. New York: McGraw-Hill, 1977.

- [7] A. Sandvik Coromant, *Modern Metal Cutting*. Sweden, 1994.
- [8] K. Atul P, J. Girish G, and S. Vikas G, “Dry Turning of AISI 304 austenitic stainless steel using AlTiCrN coated insert produced by HPPMS technique,” *Procedia Eng.*, vol. 64, pp. 737–746, 2013.
- [9] AB Sandvik Coromant, “Esqueça a alegação de que o aço inoxidável é difícil de usinar,” *O Mundo da Usinagem*, vol. 1, no. 1, 2001.
- [10] W. Gennari and A. . Machado, “Melhorias na usinabilidade dos aços inoxidáveis,” *Máquinas e Met.*, no. 404, pp. 84–98, 1999.
- [11] J. Kaminski and B. Alvelid, “Temperature reduction in the cutting zone in water-jet assisted turning,” *J. Mater. Process. Technol.*, no. 106, pp. 68–73, 2000.
- [12] L. E. de Â. Sanchez, G. L. Palma, I. Marinescu, D. L. Modolo, L. J. Nalon, and A. E. Santos, “Effect of different methods of cutting fluid application on turning of a difficult-to-machine steel (SAE EV-8),” *J. Eng. Manuf.*, pp. 220–234, 2012.
- [13] R. P. Zeilmann, B. Fernando M, and S. Vania, “PROCESSOS DE USINAGEM E RESPONSABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DA REDUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE,” Universidade de Caxias do Sul.
- [14] S. P.S and N. B.K.A, “Dry Machining: Machining os the future,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 101, 2000.
- [15] K. F, K. T, G. K, F. R, Z. V, P. M, and E. G, “Improved Cutting Processes with Adapted Coating Systems,” *Lab. Mach. Tools Prod. Eng.*, 1998.
- [16] K. F and E. G, “Dry Cutting,” *CIRP Ann.*, vol. 46, no. 2, pp. 519–526, 1997.
- [17] N. A. Abukhshim, P. T. Mativenga, and M. A. Sheikh, “Investigation of heat partition in high speed turning of high strength alloy steel,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 45, 2005.
- [18] D. O’Sullivan; and C. M, “Temperature measurement in single point turning,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 118, pp. 301–308, 2001.
- [19] R. Komanduri and Z. B. Hou, “A review of the experimental techniques for the measurement of heat and temperatures generated in some manufacturing processes and tribology,” *Tribol. Int.*, vol. 34, 2001.
- [20] A. . Machado, A. . Abrão, R. T. Coelho, and M. B. da Silva, *Teoria da Usinagem dos Materiais*, 2nd ed. São Paulo: Blucher, 2011.

- [21] A. R. Machado, R. T. Coelho, A. M. Abrão, and M. B. da; Silva, *Teoria da Usinagem dos Materiais*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2009.