

## EFEITO DAS DIFERENTES DIREÇÕES DE APLICAÇÃO DE JATO DE FLUIDO DE CORTE NO TORNEAMENTO DE UM AÇO DE DIFÍCIL USINAGEM

Renan Luis Fragelli<sup>1</sup>

Alexandre Ricardo Alferes Bertoncini<sup>2</sup>

Samuel José Casarin<sup>3</sup>

Anne Caroline Melo de Alcantara<sup>4</sup>

Luiz Eduardo de Angelo Sanchez<sup>5</sup>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, Bauru – SP.

<sup>1</sup>renan.fragelli@unesp.br

<sup>2</sup>bertoncini@unimar.br

<sup>3</sup>samuel.jose@unesp.br

<sup>4</sup>acmamecanica@gmail.com

<sup>5</sup>sanchez@feb.unesp.br

**Resumo.** Com o objetivo de melhorar o desempenho dos jatos de alta pressão, estudou-se o comportamento da operação de torneamento do aço de difícil usinagem ISO 683-XV-8, empregando pastilha de metal duro revestida e com a aplicação de fluido de corte sob alta pressão nas três principais regiões geradoras de calor: interface cavaco-ferramenta, zona de cisalhamento primária e zona de contato ferramenta-peça. Para isso, foi desenvolvido em um torno convencional um sistema de aplicação de jatos sob alta velocidade e pressão no processo de usinagem, com controle de vazão e variação do ângulo de aplicação. O desempenho de cada posição de aplicação dos jatos foi analisado levando-se em conta a vida das ferramentas, as forças de usinagem, a temperatura gerada pelo corte, o desgaste da ferramenta. De maneira geral, os resultados mostram que as aplicações do jato à alta pressão na interface cavaco-ferramenta apresentaram os melhores resultados, seguidos do jato peça-ferramenta e jato peça-cavaco respectivamente, chegando a aumentar a vida da ferramenta em até 152 %, quando comparada com a aplicação convencional da máquina ferramenta.

**Palavras chave:** torneamento. jato de alta pressão. vida de ferramenta. fluido de corte. Desgaste de ferramenta.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Shaw (2005), apenas uma pequena parcela, de 1 a 3%, de todo trabalho necessário para a remoção de material não é convertido em calor e que, de maneira segura, é possível afirmar que praticamente toda a energia mecânica envolvida é convertida em energia térmica. Neste sentido, Fleischer *et al.* (2007) estimam que no torneamento a perda do calor é de até 18% em direção à ferramenta, 20% para a peça e de 74,6% a 91,3 % para o cavaco. Nota-se, portanto, que o calor transferido à ferramenta representa uma parcela pequena do total do calor gerado. Porém, devido à área de contato com o cavaco ser reduzida, o fluxo térmico nesta região acaba sendo muito intenso, causando grande aquecimento da ferramenta. Dessa forma, a refrigeração da ferramenta se faz necessária, principalmente para o caso onde ferramentas de metal duro são utilizadas.

De acordo com Kovacevic (1995), quanto maior o consumo de energia maior é a força de atrito e a temperatura na região da interface cavaco/ferramenta. O processo de usinagem pode ser mais eficiente em termos de aumento da vida da ferramenta e melhora do acabamento superficial se as condições na região da interface cavaco/ferramenta forem controladas. Ainda segundo o autor, a remoção de calor na usinagem é o melhor modo para manter a taxa de desgaste sob controle, conseguido pela utilização do fluido de corte que atua na remoção de calor e, em menor parte, na lubrificação da interface cavaco/ferramenta através da redução do atrito.

De acordo com Machado e Silva (2004), são fatores extremamente dependentes da temperatura: a vida da ferramenta, o consumo de energia, o processo de formação do cavaco e a integridade superficial da peça. A temperatura ainda determina os mecanismos de desgaste da ferramenta que irão definir a vida da mesma.

Autores como Seah *et al.* (1995) e Li (1996a, 1996b), relatam que a vazão e a direção da aplicação do fluido de corte podem determinar a eficiência das funções de refrigeração e redução de atrito. A maneira mais comum de aplicação do fluido de corte é a convencional, por inundação (ou abundância), atuando nas “costas do cavaco”. Entretanto, constata-se que este método não permite que o fluido de corte alcance eficientemente as regiões de maior aquecimento, tal como a

ponta da ferramenta, além da tendência natural do cavaco em movimento expulsar o fluido da região de corte reduzindo sua ação lubrificante.

Com o intuito de aumentar o desempenho das condições de refrigeração na usinagem, Pigott e Colwell (1952) foram os primeiros a aplicar o fluido de corte sob altas pressões, de aproximadamente 2,75 MPa, entre o cavaco e a ferramenta de corte. Como resultado, os autores relatam um grande aumento da vida da ferramenta, de 7 a 8 vezes, além da melhora do acabamento superficial da peça.

Neste contexto, Machado e Wallbank (1994) também empregaram o fluido de corte à alta pressão dirigido especificamente entre o cavaco e a ferramenta, obtendo com esse procedimento resultados satisfatórios principalmente em relação ao desgaste de cratera e à minimização da formação da aresta postiça de corte, uma vez que o jato de fluido atua, segundo os autores, como um quebra cavaco além de reduzir o atrito na superfície de saída da ferramenta e atingir locais mais próximos do raio de ponta da ferramenta.

Sanchez et al. (2012) fizeram um estudo comparando a vida da ferramenta entre as formas de aplicação do fluido de corte, Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL), abundante e jato de alta pressão (2,94 MPa) nas três principais regiões geradoras de calor: interface cavaco-ferramenta; nas costas do cavaco (entre a peça e o cavaco); e no contato peça-ferramenta. Nesses experimentos foi constatado que o modo de aplicação com menor vazão de fluido, como o MQL, mostrou-se vantajoso sobre o método abundante, porém inferiores aos de aplicação com jatos dirigidos com alta pressão. Quanto à posição das aplicações dos fluidos em relação às regiões geradoras de calor, o jato dirigido na interface do cavaco e ferramenta resultou em redução da temperatura e da velocidade de desgaste da ferramenta bastante significativos em relação aos demais métodos de aplicação de fluido de corte.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é avançar na linha de pesquisa de Sanchez et al. (2012), estudando os efeitos da aplicação de fluido de corte sob alta pressão no processo de torneamento do aço ISO 683-XV-8 variando a posição e o ângulo de aplicação, a fim de otimizar as condições dos jatos aplicados.

## 2. METODOLOGIA

O experimento consistiu no torneamento de um aço de difícil usinagem variando-se os ângulos de aplicação individual do fluido de corte em forma de jato, nas regiões peça-cavaco, cavaco-ferramenta e ferramenta-peça, de acordo com o esquema apresentado na Figura 1. Foram avaliados: a vida e o desgaste da ferramenta, a força de corte e a temperatura da ferramenta de corte. Para a realização dos ensaios utilizou-se um torno convencional da marca Romi, modelo Tormax 30 ao qual foi incorporado um sistema de refrigeração de funcionamento à alta pressão.

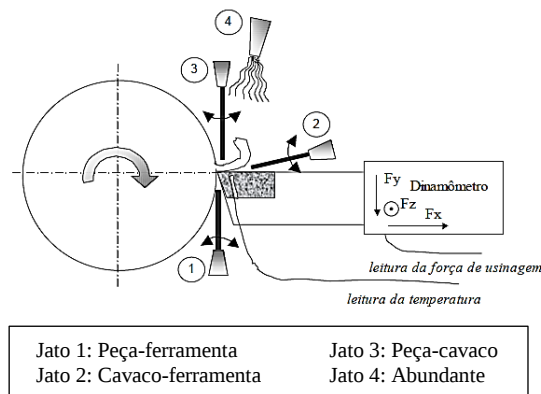


Figura 1. Direções dos jatos aplicados.

O material empregado nos ensaios foi o aço austenítico endurecido por precipitação ISO 683-XV-8. Este é um material com baixa condutividade térmica, de difícil usinagem e recomendado na fabricação de válvulas de motor a combustão interna. Sendo assim, optou-se pela ferramenta ISO TNMA 160408, com revestimento (TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiN) e sem quebra-cavacos. A ausência de quebra-cavacos se deu para que o mesmo não influenciasse no desgaste da ferramenta. Foi utilizado um fluido de corte semissintético com concentração 1:40 e os parâmetros de usinagem foram: Vc=172 m/min; f=0,1 mm/volta; ap=0,5 mm.

Para analisar o desgaste da ferramenta de corte ao final de cada passe, um microscópio óptico (Nikon - modelo SMZ 800). O critério estabelecido para o fim de vida da ferramenta foi o desgaste de flanco médio (VBB) no limite de 0,3 mm. Um dinamômetro piezoelétrico KISTLER modelo 9257 BA de três componentes foi utilizado para aquisição dos esforços de corte.

Para uma comparação precisa da temperatura desenvolvida entre as diferentes maneiras de aplicação do fluido adotou-se pastilha e termopar únicos do tipo K. Os ensaios para aquisição de temperatura foram separados dos demais, utilizando-se uma ferramenta PCBN e executando apenas um passe para cada condição analisada a fim de garantir a

comparação entre as diferentes condições sem que a ferramenta atingisse o seu fim de vida antes da conclusão de todos os testes.

Para a aplicação dos jatos, foi desenvolvido um dispositivo onde os jatos poderiam ser posicionados nas interfaces em questão e os seus ângulos de aplicação poderiam ser ajustados, conforme apresentado na Figura 2.

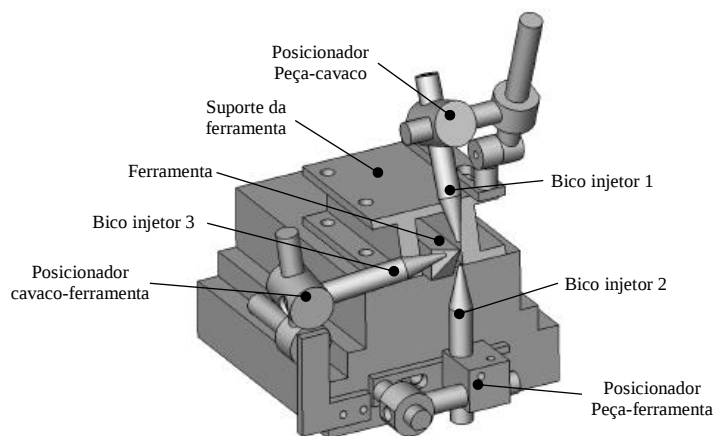


Figura 2 -Dispositivo para posicionamento dos jatos

As condições a serem estudadas foram determinadas a partir dos ângulos de posicionamento dos jatos e da região de aplicação do jato, sendo mais próxima ou mais afastada da ponta da ferramenta, de acordo com a Figura 3 e Tabela 1.

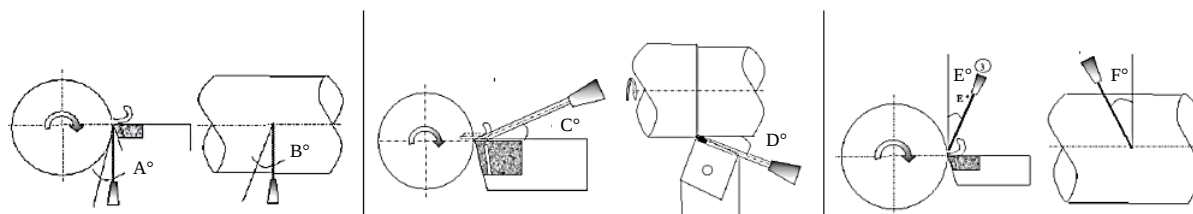


Figura 3. Ângulos para determinação das posições dos jatos.

Tabela 1. Condições experimentais

|    | A   | B   | Jato 1- Interface Peça-Ferramenta                                                                     |
|----|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1a | 0   | 0   | Jato dirigido para a ponta da ferramenta e fluxo para as arestas dividido em volumes iguais.          |
| 2a | 0   | 0   | Jato afastado da ponta da ferramenta e fluxo para as arestas dividido em volumes iguais.              |
| 3a | 0   | 0   | Jato afastado da ponta da ferramenta e fluxo dividido com maior volume na aresta secundária de corte. |
| 4a | 0   | 0   | Jato afastado da ponta da ferramenta e fluxo dividido com maior volume na aresta principal de corte.  |
| 5a | 0   | 11° |                                                                                                       |
| 6a | 0   | 30° |                                                                                                       |
|    | C   | D   | Jato 2 - Interface Cavaco-Ferramenta                                                                  |
| 1b | 10° | 20° | Jato dirigido para a superfície de saída do cavaco (1mm da ponta da ferramenta)                       |
| 2b | 20° | 20° | Jato dirigido para a ponta da ferramenta.                                                             |
| 3b | 30° | 20° | Jato dirigido para a superfície de saída do cavaco (1mm da ponta da ferramenta)                       |
| 4b | 25° | 20° |                                                                                                       |
|    | E   | F   | Jato 3 - Interface Cavaco-Peça                                                                        |
| 1c | 0   | 0   | Jato dirigido para a ponta da ferramenta/ "costas do cavaco"                                          |
| 2c | 10° | 41° |                                                                                                       |
| 3c | 10° | 20° |                                                                                                       |
| 4c | 66° | 0   |                                                                                                       |
| 5c | 40° | 0   |                                                                                                       |
| 6c | 30° | 0   |                                                                                                       |

### 3. RESULTADOS

Os resultados e as discussões referentes a vida da ferramenta, desgaste médio de flanco, força de usinagem e temperatura da ferramenta de corte que serão apresentados se referem as condições de melhor desempenho para cada um dos jatos aplicados e da condição de aplicação abundante. As condições em questão são: 5a, 2b e 2c, de acordo com a Tabela 1.

### 3.1 Vida da ferramenta e desgaste médio de flanco

A Figura 4 apresenta o desgaste de flanco médio ( $VB_B$ ) das ferramentas de corte em cada uma das condições com relação ao tempo de usinagem total de cada uma delas. Também mostra o aspecto das regiões da ponta da ferramenta e da superfície de saída, no instante em que o critério de desgaste de flanco foi atingido, ou ultrapassado ( $VB_B = 0,3$  mm), para as melhores condições de cada jato. É possível observar que não ocorreram desgastes de cratera significativos, sugerindo que o desgaste não envolveu mecanismo de difusão na interface cavaco-ferramenta. Para as aplicações com fluido de corte a alta pressão sugere-se que o mecanismo preponderante de desgaste seja o abrasivo, normalmente caracterizado pela deterioração concentrada da região de flanco da ferramenta. Além do aspecto do desgaste apontar para essa possibilidade, sabe-se, pela micrografia realizada por Sanchez et al. (2012), que o material usinado apresenta quantidades de Cromo capazes de precipitar carbonetos. Então, além das altas temperaturas, verificadas na região de corte, a presença de carbonetos de elevada dureza, como o carboneto de cromo, acentua o mecanismo de desgaste abrasivo. Além disso, observou-se na aplicação do “Jato 1 - peça-ferramenta” o aparecimento de aresta postiça de corte e desgaste de entalhe, sugerindo que, para este tipo de aplicação em particular, ocorreu o mecanismo de difusão, aumentando a velocidade de desgaste da ferramenta.

De acordo com os resultados, observa-se que a condição mais favorável para cada um dos jatos apresentou valores entre 660s e 831s, sendo que o “Jato 2 - cavaco-ferramenta” foi a mais favorável dentre todas. Ressalta-se que o pior desempenho foi de 330s, para a aplicação abundante.

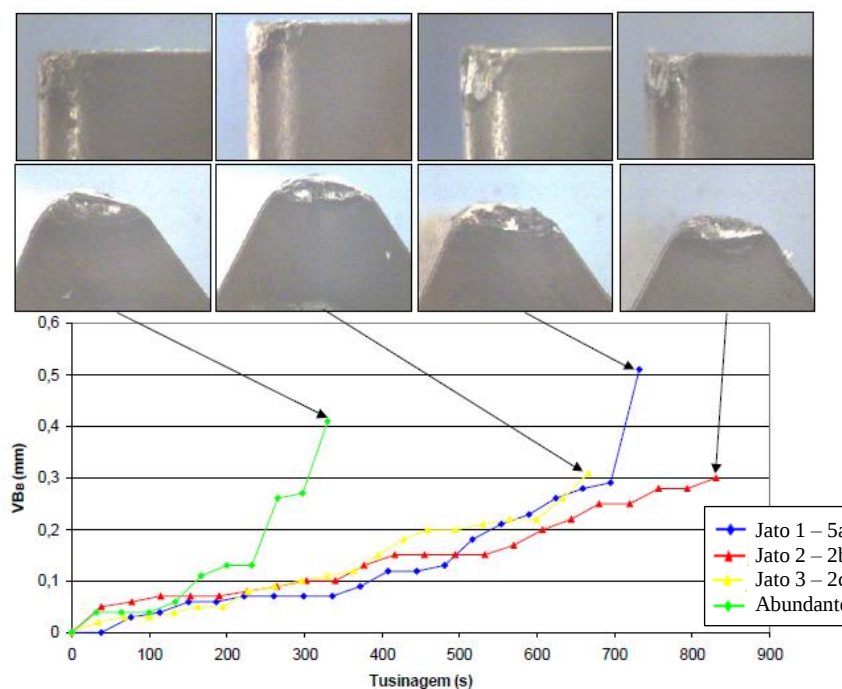


Figura 4. Aspecto da ferramenta de corte ao atingir o fim de vida da ferramenta nas melhores condições de cada jato.

### 3.2 Esforços de Usinagem

A Figura 5 apresenta o comportamento das forças de usinagem para as condições mais favoráveis de cada jato. A força de usinagem é obtida como a soma vetorial das forças de corte, avanço e profundidade. Nota-se que o comportamento da força de usinagem corrobora com os resultados obtidos sobre o desgaste de flanco da ferramenta, cujas curvas assumem posições análogas em seus gráficos. O gradiente da velocidade de desgaste de flanco é maior para a aplicação abundante. E entre os jatos, o desgaste é menor para a aplicação “Jato 1 - peça-ferramenta”, até o tempo de usinagem de 350s, quando o gradiente de desgaste para esta posição de jato aumenta, ultrapassando os valores “Jato 2 - cavaco-ferramenta” e mantendo-se inferior aos valores do “Jato 3 - peça-cavaco”.

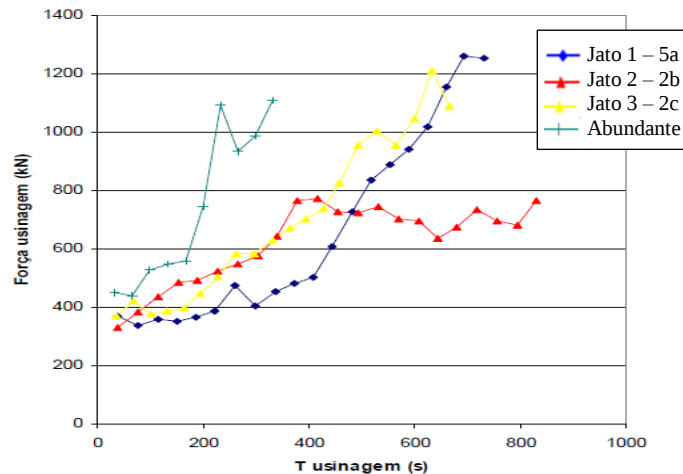


Figura 5. Força de usinagem nas condições mais favoráveis de cada posição do jato.

### 3.3 Temperatura da ferramenta de corte

A Figura 6 mostra as temperaturas relativas das ferramentas de corte, no ponto de fixação do termopar, após a estabilidade térmica e apresenta a posição de fixação do termopar. O método de aplicação do “Jato 2 - cavaco-ferramenta” mostrou-se, em sua posição mais favorável, ter desempenho superior aos demais. O melhor desempenho se dá por conseguir atingir diretamente a região da interface cavaco ferramenta, onde são desenvolvidas as maiores temperaturas da ferramenta devido ao calor gerado da zona de cisalhamento primária. Isto e reflete em menores velocidades de desgaste e forças de usinagem.

O “Jato 1 - peça-ferramenta” registrou a segunda menor temperatura relativa dentre todos os tipos de aplicação, mostrando coerência com o desempenho medido das outras variáveis de saída. Este resultado não pode ser creditado só à eficiência térmica deste método de jato, pois o resultado pode ter sido influenciado pelo posicionamento do termopar inserido no interior da ferramenta, próximo à superfície de folga onde o fluido de corte é dirigido. E, por fim, a maior temperatura foi registrada para a aplicação de fluido pelo método abundante.

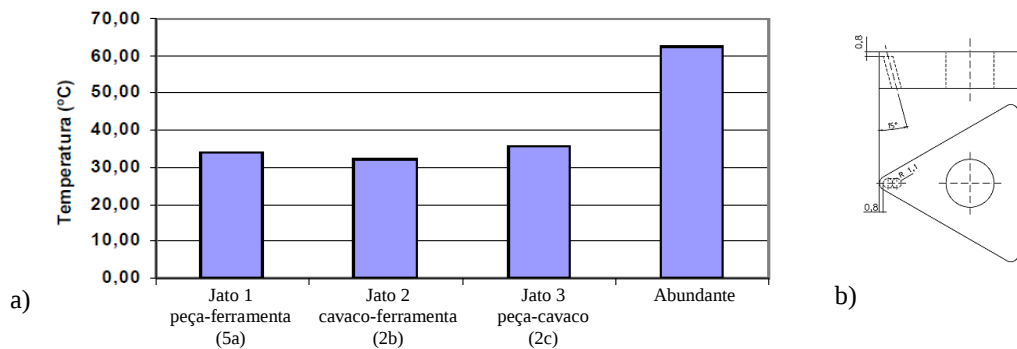


Figura 6. a) Temperatura num ponto interno da ferramenta de corte; b) Posição do termopar na ferramenta de corte.

## 4. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos neste trabalho, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

- Todas as aplicações de fluido de corte em forma de jato apresentaram resultados de vida de ferramenta superiores ao da aplicação abundante, chegando a uma porcentagem de aumento da vida da ferramenta em 152% para o jato cavaco-ferramenta, de 121% para o jato peça-ferramenta e 100% para o jato peça-cavaco;
- Observa-se que aparentemente não ocorreram desgastes de cratera significativos nos jatos cavaco-ferramenta e peça-ferramenta, sugerindo que o desgaste, para estes tipos de jatos, não envolveu mecanismo de difusão na interface do cavaco e ferramenta.
- Também fica evidente que a ação de jatos a alta pressão contribui para uma temperatura da ferramenta de corte inferior a condição abundante, resultando num controle maior dos mecanismos de desgates, principalmente dos termicamente ativados (oxidação e difusão).

## 5. REFERÊNCIAS

- Fleischer, J.; Pabst, R.; Kelemen, S. 2007. Heat Flow Simulation for Dry Machining of Power Train Castings. *Annals of CIRP*, v. 56, p. 117-122.
- Kovacevic, R.; Cherukuthota, C.; Mohan, R. 1995. Improving milling performance with high pressure waterjet assisted cooling/lubrication. *Journal of Engineering for Industry*, vol. 117, p. 331-339.
- Li, X. 1996a. Study of the jet-flow rate of cooling in machining. Part 1. Theoretical analysis. *Journal of Materials Processing Technology* 62, p. 149-156.
- Li, X. 1996b. Study of the jet-flow rate of cooling in machining. Part 2. Simulation study. *Journal of Materials Processing Technology* 62, p. 157-165.
- Machado, A. R.; Wallbank, J. 1994. The effects of a high-pressure coolant jet on machining. *ImechE*, vol. 208, p. 29-28.
- Machado, R.; Silva, M. B. 2004. *Usinagem dos metais*. 8. Ed. Editora da Universidade Federal de Uberlândia.
- Pigott, R.J.S.; Colwell, A. T. 1952. High pressure system for increasing tool life. *SAE Quarterly Transactions*, vol 6, nº 3, p. 547-564.
- Sanchez, L. E. D. A., Palma, G. L., Marinescu, I., Modolo, D. L., Nalon, L. J., & Santos, A. E. 2013. Effect of different methods of cutting fluid application on turning of a difficult-to-machine steel (SAE EV-8). *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 227(2), 220-234.
- Seah, K. H. W., Li, X., Lee, K. S. 1995. The effect of applying coolant on tool wear in metal machining. *Journal of Materials Processing Technology* 48, p. 495-501.
- Shaw, M. C. 2005. *Metal cutting principles*. 2nd. ed. New York: Oxford University Press, 594 p.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

# EFFECT OF DIFFERENT JET DIRECTIONS FOR THE APPLICATION OF CUTTING FLUID IN THE TURNING OF A DIFFICULT TO MACHINING STEEL

Renan Luis Fragelli<sup>1</sup>

Alexandre Ricardo Alferes Bertoncini<sup>2</sup>

Samuel José Casarin<sup>3</sup>

Anne Caroline Melo de Alcantara<sup>4</sup>

Luiz Eduardo de Angelo Sanchez<sup>5</sup>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01, Bauru – SP.

<sup>1</sup>renan.fragelli@unesp.br

<sup>2</sup>bertoncini@unimar.br

<sup>3</sup>samuel.jose@unesp.br

<sup>4</sup>acmamecanica@gmail.com

<sup>5</sup>sanchez@feb.unesp.br

**Abstract.** *With the purpose of improving the efficiency of high pressure jets, it was studied the behavior of the turning operation of ISO 683-XV-8, a difficult to machine steel, using coated sintered carbide insert, under high pressure application of the cutting fluid in the three main heat generating areas: interface chip-tool; primary zone of shear; and area of tool-workpiece contact. For that, it was developed in a conventional lathe a jet application system of high pressure and speed, a control system of the flow and pressure and a device capable to control the variation of the jets application angles. The objective was to improve the performance of the high-pressure jets, in each application position, controlling the positions and the angles of application of the fluid. The performance of each application position of the jets was measured, in terms of tool life, cutting force components, relative temperature of the tool and tool wear. In general, the results show that applications with high pressure jet directed on to chip-tool interface presented the best results, followed by the jet pointed to the work piece-tool and work piece-chip. The tool life increased 152% when compared with the conventional fluid application.*

**Keywords:** turning, high pressure jet, tool life, cutting fluid, tool wear.

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.