

AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE APLICADO EM MQF NO FRESAMENTO DE AÇOS

Wisley Falco Sales - wisley@pucminas.br

Fabício Ely Sacramento Oliveira - fabriciosacramento@hotmail.com

Rodrigo Ferreira Coimbra e Silva - rfcoimbra@yahoo.com.br

Cristiano Mateus de Almeida

Clovis Sperb de Barcellos - clovis@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas, Belo Horizonte, MG.

Sandro Cardoso Santos - sandro@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET MG, Belo Horizonte, MG

Resumo. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de fluidos de corte, aplicados em mínima quantidade, e a evolução da formação de rebarbas. O fluido foi avaliado quanto a sua relação com a rugosidade da peça e com o desgaste da ferramenta. Isto é, para verificar a existência de correlação entre a vazão de fluido, topografia da superfície e vida da ferramenta. Portanto, após o término da etapa de análise dos resultados experimental os resultados mostraram que o fluido aplicado em mínima vazão foi mais eficiente do que na condição a seco. Isto ocorreu principalmente com relação ao critério de vida da ferramenta.

Palavras-chave: Fluidos de corte, mínima vazão, fresamento, desgaste, rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem têm uma importância significativa dentro dos atuais sistemas produtivos de fabricação na indústria de todo o mundo. Sendo parte integrante desses processos, o fresamento ocupa uma posição de destaque por ser largamente empregado na fabricação de peças. Porém, com a necessidade sempre crescente de qualidade e produtividade, juntamente com a preservação ambiental, aprimorar os métodos de fabricação é de grande relevância, para que estas exigências sejam atendidas de maneira competitiva.

Taylor (1907) publicou a sua pesquisa mostrando o significativo aumento produtivo causado pelo uso de fluidos durante o processo de corte dos materiais. Isso proporcionou uma grande importância aos fluidos de corte e a partir daí observou-se que um novo campo na usinagem estava se abrindo e que a sua utilização poderia contribuir para maiores volumes de produção serem atingidos dentro das empresas.

A aceitação dos fluidos de corte na indústria de metalmeccânica deve-se a benefícios como o de refrigerar a região de corte, lubrificá-la a baixas velocidades de corte e altas tensões, melhorar a vida da ferramenta, melhorar o acabamento superficial, facilitar o transporte do cavaco e deixar uma camada protetora sobre a superfície usinada.

Com o desenvolvimento da indústria mecânica e a sua constante tentativa de aumentar a produtividade e/ou reduzir custos, os fluidos de corte tiveram de ser aprimorados fazendo com que

hoje existam produtos de composições complexas as quais variam de acordo com o tipo de operação a ser executada e os metais a serem trabalhados.

Assim a escolha do fluido de corte é bastante importante durante o processo industrial de um produto, pois dependerá de uma sequência de fatores inter-relacionados, tais como: aspectos econômicos, custos relacionados ao procedimento de descarte e saúde humana. Os fluidos de corte podem produzir alguns efeitos extremamente prejudiciais, tais como (Runge e Duarte, 1987 e Sales, 1999):

- Contaminação do meio ambiente, como dos córregos, lagos e rios;
- A procriação de fungos e bactérias;
- A produção de vapores tóxicos, com fortes odores desagradáveis, inclusive podendo provocar doenças respiratórias;
- Doenças de pele, entre elas pequenas alergias e dermatites;
- Doenças pulmonares, como bronquite e asma;
- Câncer de vários tipos como de cólon, bexiga, pulmão, pâncreas, sinusal, laringe, entre outros e,
- Riscos de combustão e até de explosão.

A partir da década de 90 com fortes pressões exercidas pelos órgãos de Proteção Ambiental e Agências de Saúde, várias pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de minimizar ao máximo possível o uso de fluido de corte na produção de metalmecânica e buscando a conformidade do processo com a norma ISO 14000. Com isto os fluidos atuais apresentam melhores propriedades refrigerantes e lubrificantes, representando assim menos riscos aos operadores de máquina-ferramenta e tendo uma vida consideravelmente maior e com menos problemas de armazenamento do que os fluidos de corte mais antigos. Mas, os custos a eles associados, relacionados à aquisição, manutenção, reposição e descarte, ainda são elevados e podem ser de 1,5 até 4 vezes o custo das ferramentas de desgaste usadas no processo (Mason, 2001), continuando assim a agregar valores relativamente altos aos produtos usinados.

No chão-de-fábrica, esses custos elevados e os problemas à saúde humana são uma realidade e representam um problema que deve ser resolvido pelos responsáveis pela fabricação. Porém a dinâmica na qual eles estão envolvidos, não os permite que façam estudos detalhados sobre novas tecnologias de fabricação. Para isso tornou-se necessário utilizar metodologias científicas, embasadas teoricamente e acompanhadas por ensaios experimentais, o que se propôs realizar neste trabalho.

Este tema é de grande importância para as indústrias de metalmecânica, pois se trata de um processo de usinagem não-agressivo ao meio ambiente e a saúde humana, o qual se denomina usinagem com mínima quantidade de fluido de corte (MQL).

A proposta da usinagem quase a seco é a pulverização de mínimas quantidades de refrigerante e/ou lubrificante sobre a aresta de corte. A técnica da usinagem com quantidades mínimas de lubrificante (MQL) reduz o atrito devido à lubrificação no ponto de contato ferramenta-peça. A proporção de lubrificante utilizada nesta técnica em relação as convencionais é tão pequena que não há problemas de descarte do fluido de corte. Apesar de ser uma quantidade mínima de fluido, obtêm-se bons resultados de corte (Da Silva et al 1998, Da Silva e Wallbank, 1998, Mason, 2001).

Para avaliar esta nova tendência é que se direcionou a pesquisa, buscando aumentar e melhorar os conhecimentos e domínio da técnica de MQL no fresamento.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Este trabalho constituiu na investigação do comportamento da vazão de fluido de corte no fresamento de aços ABNT 4140, bem como da verificação da relação entre a vazão de fluido, o desgaste da ferramenta e a topografia da superfície usinada.

Material da peça

Os ensaios experimentais foram realizados fresando o aço ABNT 4140, com dureza HV 210 kgf/mm². Esse é um aço de médio teor de carbono e de elementos de liga, conhecido como um aço de baixa liga e amplamente utilizado na fabricação de eixos, engrenagens, entre outros. O material da peça foi adquirido na forma de barras de seção quadrada de 100 mm de aresta de 500 mm, em média, de comprimento.

Fluido de Corte

Utilizou-se um fluido de corte vegetal, aplicado na forma integral (sem mistura à água), na forma de névoa através do eixo da fresa, conforme esquematizado na Fig. 1. Esse tipo de fluido apresenta excelentes características de lubrificação limítrofe, formando uma película molecular de baixa tensão de cisalhamento, sobre a superfície de saída da ferramenta facilitando assim o movimento do cavaco. Dessa forma, na usinagem espera-se que o atrito gerado no processo de corte e conseqüentemente as tensões, deformações e geração de calor sejam reduzidas.

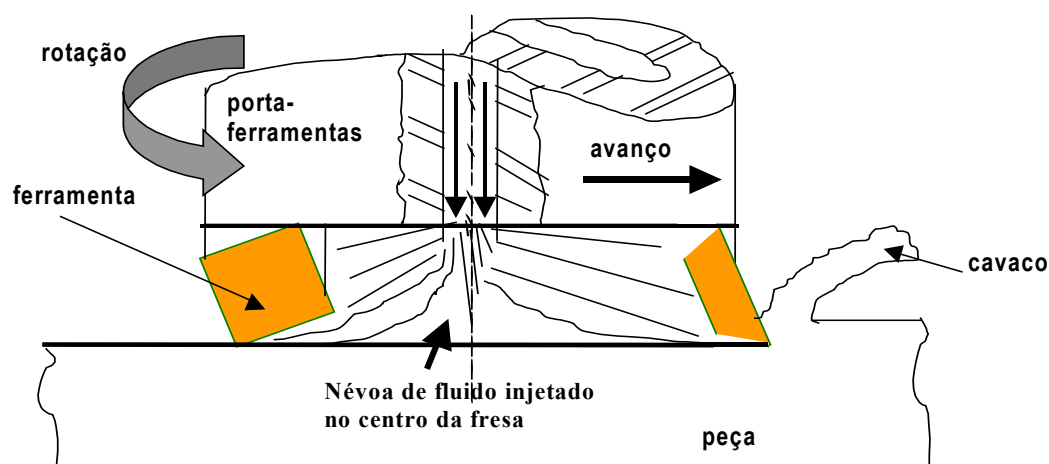


Figura 1 - vista esquemática da operação de fresamento e da aplicação da névoa de fluido vegetal.

Sistema de aplicação e Ajuste da vazão do fluido

O fluido de corte foi aplicado por meio de um sistema de névoa, o qual possui dois bicos de pulverização e uma base magnética que facilita sua fixação à máquina. Este sistema permite três tipos de regulagem: por fluxo de fluido (óleo), por fluxo de ar comprimido e por frequência de pulsos.

Para a regulagem por fluxo de óleo existem ainda duas opções de regulagem, a do bico superior e a do bico inferior. A exemplo da regulagem por fluxo de óleo a regulagem por ar comprimido disponibiliza ajuste para o bico superior e para o bico inferior separadamente. E por fim a regulagem por frequência de pulsos possibilita somente um ajuste, o qual está diretamente ligado às duas saídas, superior e inferior, sendo assim qualquer alteração será levada em dobro à saída.

Houve a necessidade de colocar uma quantidade de óleo conhecida dentro do reservatório do sistema dosador, em seguida ligaram-se o sistema de névoa e o centro de usinagem, a uma rotação igual a que mais tarde seria usada no fresamento das barras. Após um período de trinta minutos, completou-se o reservatório de óleo até o nível do início da regulagem utilizando uma proveta graduada. Completado o nível de óleo, mediu-se a quantidade restante dentro da proveta e através de cálculos simples constatou-se o consumo de óleo para a posição marcada no regulador de fluxo de óleo. Como a regulagem do fluxo de óleo é graduada, repetiu-se o processo descrito acima para cada marca da graduação, o que resultou em uma escala que auxiliaria na calibração das vazões desejadas.

(50ml/h, 100ml/h, 150ml/h e 200ml/h). De posse desta escala, regulou-se as vazões por meio apenas da frequência de pulsos.

Condições de corte

Foram mantidos fixos os parâmetros de corte nos seguintes valores:

- Velocidade de corte – $v_c = 250$ m/min;
- Avanço por dente – $f_z = 0,1$ mm/rev;
- Profundidade de corte – $a_p = 1$ mm.

O diâmetro da fresa é 120 mm e em velocidade de corte de 250 m/min ela deve girar a 663 rpm. Seu giro juntamente com a sua geometria positiva tende a promover o fluxo de ar do centro para a periferia, desta forma, a névoa injetada no centro é exaurida para a periferia da fresa e conseqüentemente alimentando o fluido às regiões compreendidas entre a superfície de folga da ferramenta e a fresa, bem como nas laterais da interface cavaco-ferramenta, na zona de escorregamento.

Medida do Desgaste da Ferramenta

As ferramentas utilizadas nos experimentos foram de metal duro revestidas de nitreto de titânio (TiN). O seu desgaste foi avaliado por meio da observação das ferramentas em uma lupa ótica, a qual contém um vernier com resolução de 0,05 mm. Nesta avaliação, monitorou-se o desgaste de flanco máximo, $VB_{BMÁX}$. O critério de fim de vida ferramenta especificado para os experimentos foi de 0,2 mm de desgaste de flanco máximo. As medidas eram realizadas a cada passe de desbaste, e quando não ocorria variação significativa no desgaste da ferramenta aumentava-se o número de passes antes de uma medição.

Medida dos Parâmetros de Topografia da Superfície Usinada

Mummery (1992) e Dagnall (1998) afirmam que somente o parâmetro R_a não é suficiente para caracterizar a topografia de uma superfície e que são necessários outros, como R_q , R_t e R_z , que em conjunto fornecem maiores informações, que são relevantes para a caracterização. Portanto os parâmetros de topografia analisados foram R_a , R_q , R_t e R_z , os quais foram obtidos por meio de um perfilômetro portátil. Utilizou-se um *cut-off* de 0,8 mm e um comprimento de amostragem de 8 mm. As medidas destes parâmetros eram realizadas juntamente com a avaliação do desgaste do flanco máximo.

3. Resultados e Discussões

Na Figura 2 mostra-se o desgaste da ferramenta de corte em relação as diferentes vazões de fluido avaliadas. Esse desgaste pode ser de duas formas: desgaste na superfície de saída da ferramenta, causado pelo escoamento do cavaco sobre a mesma, e desgaste do flanco causado pelo contato entre a superfície de folga da ferramenta com a superfície principal de usinagem, gerada pela aresta principal de corte na peça. Embora exista um ângulo de folga, ele é eficaz somente enquanto a cunha cortante da ferramenta apresenta o seu formato original, ou seja, pequenos desgastes da ferramenta são suficientes para aumentar o contato e conseqüentemente a geração de calor e progressivamente, o desgaste da ferramenta.

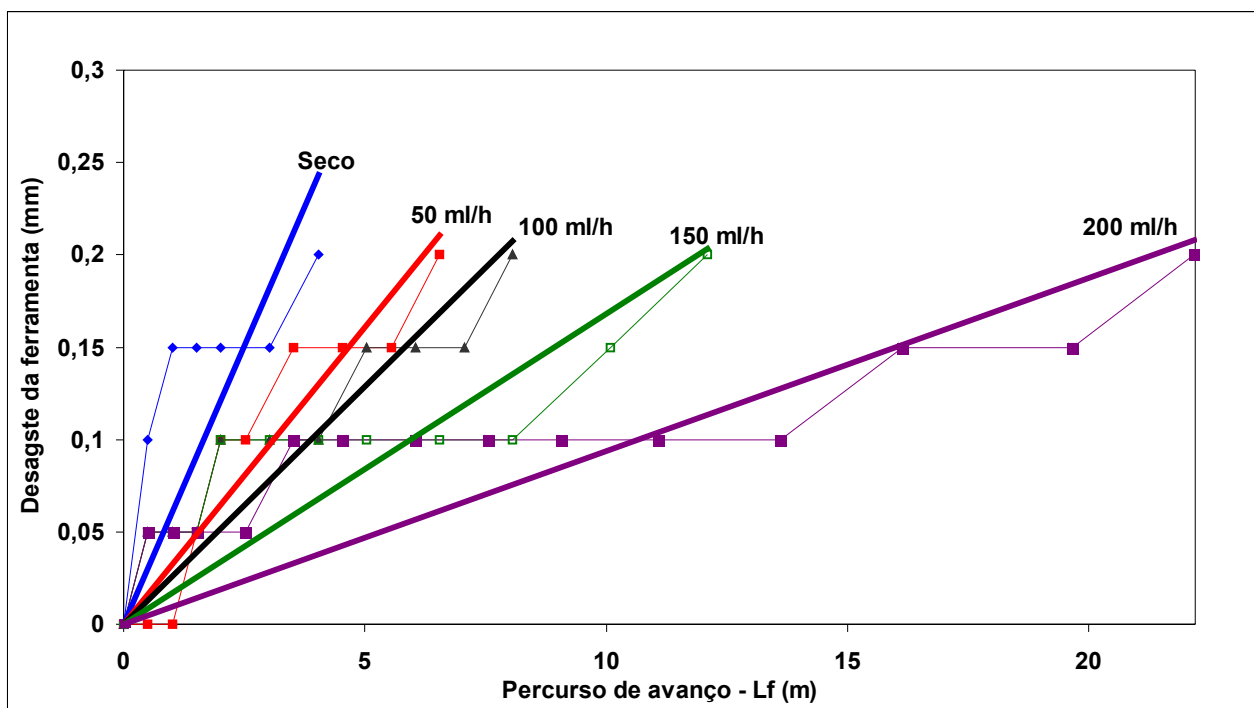


Figura 2 – Desgaste da ferramenta de corte em relação às vazões de fluido.

Conforme se observa na Figura 1, há uma tendência de crescimento do desgaste da ferramenta para todas as vazões durante o aumento do percurso de avanço. Na usinagem a seco obteve-se o maior desgaste em um menor percurso de avanço. À medida que se aumenta a vazão do fluido, maior será o percurso de avanço, sendo que este maior percurso ocorreu na vazão de 200 ml/h. Observa-se que na condição a seco a ferramenta se desgastou rapidamente e atingiu o critério de fim de vida especificado nos procedimentos experimentais, que foi o desgaste de flanco máximo de $VB_{Bmáx} = 0,2$ mm.

O fato da ocorrência de um maior percurso de avanço foi consequência do menor desgaste da ferramenta, ocasionado pela melhor lubrificação da interface peça-ferramenta proporcionando assim um melhor deslizamento da ferramenta e com isso uma redução da força de corte que por sua vez reduz a geração de calor, sendo este último um importante fator na vida da ferramenta, pois com a sua redução, os efeitos de desgaste de origem térmica ficam amenizados. Observa-se que o aumento da vazão de fluido de corte promoveu o aumento da eficácia do fluido de corte. É possível afirmar que as condições de molhamento da superfície de saída da ferramenta e consequentemente da formação do filme molecular de baixa tensão de cisalhamento, intensificou-se e tornou-se mais eficaz com o aumento da vazão do fluido de corte.

Nas Figuras 3 e 4 mostram-se os parâmetros de avaliação da rugosidade da superfície usinada R_a e R_q , para diferentes vazões do fluido de corte até que a ferramenta desgastasse alcançando o fim de vida adotado nos experimentos, $VB_{Bmáx} = 0,2$ mm.

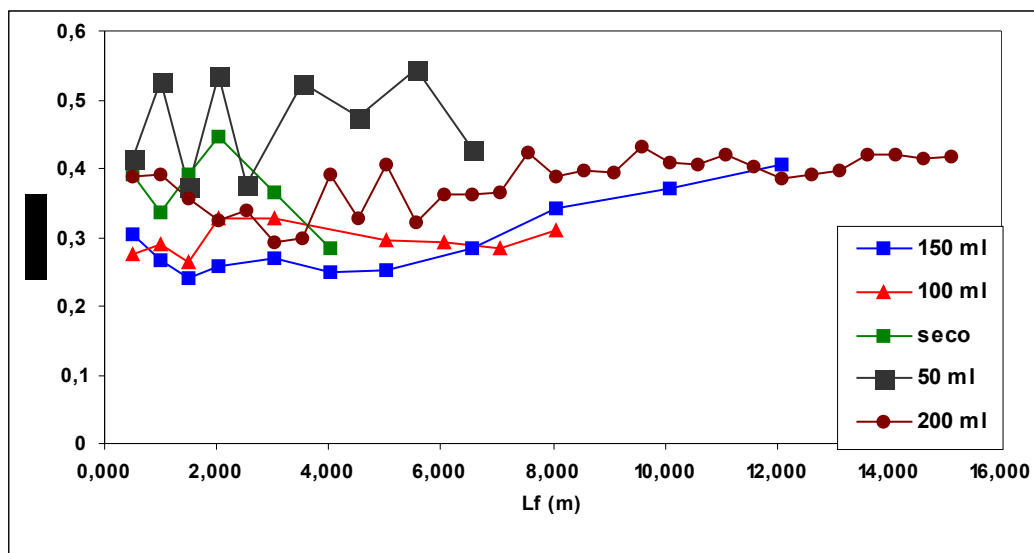


Figura 3 - Rugosidade R_a em função das vazões do fluido de corte.

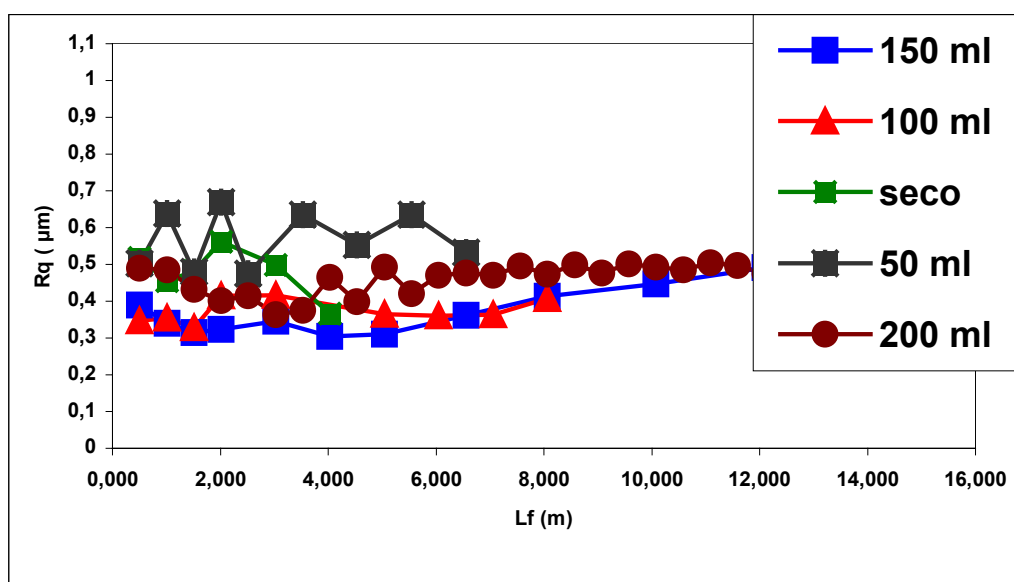


Figura 4 - Rugosidade R_q em função das vazões do fluido de corte.

Analisando as Figuras 3 e 4, observa-se que na usinagem a seco, 50, 100 e 200 ml/h de fluido, os parâmetros R_a e R_q sofreram pequenas variações durante o percurso de avanço. No entanto, quando vazão foi 150 ml/h houve uma tendência crescente tanto do R_a quanto do R_q à medida que o percurso de avanço aumentava. Com o aumento do tempo de corte e conseqüente do percurso de avanço, o desgaste da ferramenta desconfigura a cunha cortante e pode influenciar na qualidade da superfície usinada, normalmente piorando, como aconteceu nos resultados apresentados.

Pode-se observar também que na usinagem com 100 ml/h obtiveram-se os menores valores de R_a e R_q em relação às outras vazões. Além disso, a vazão de 200 ml/h de fluido, apesar dos valores de R_a e R_q serem um pouco maiores do que o mínimo encontrado obteve uma maior estabilidade dentre os parâmetros de rugosidade durante o aumento do percurso de avanço. Observa-se ainda que os piores resultados de R_a e R_q foram encontrados para a condição a seco.

Nas Figuras 5 e 6 mostram-se os parâmetros de avaliação da rugosidade da superfície usinada R_t e R_z em relação às vazões do fluido de corte. O parâmetro de rugosidade R_t indica a altura entre o pico mais elevado e o vale mais profundo no comprimento de amostragem avaliado.

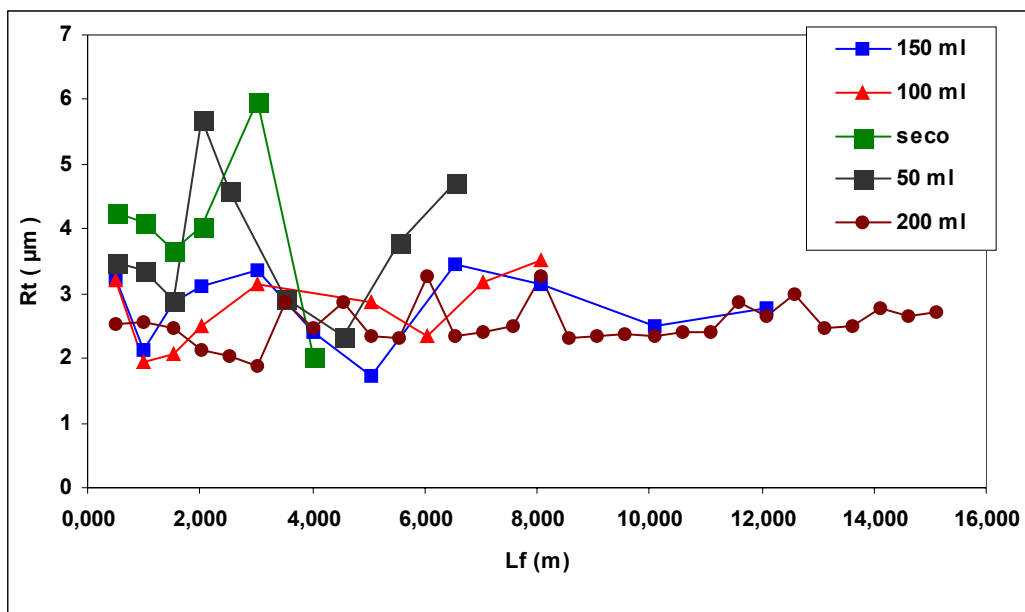


Figura 5 - Rugosidade R_t em função da vazão do fluido de corte.

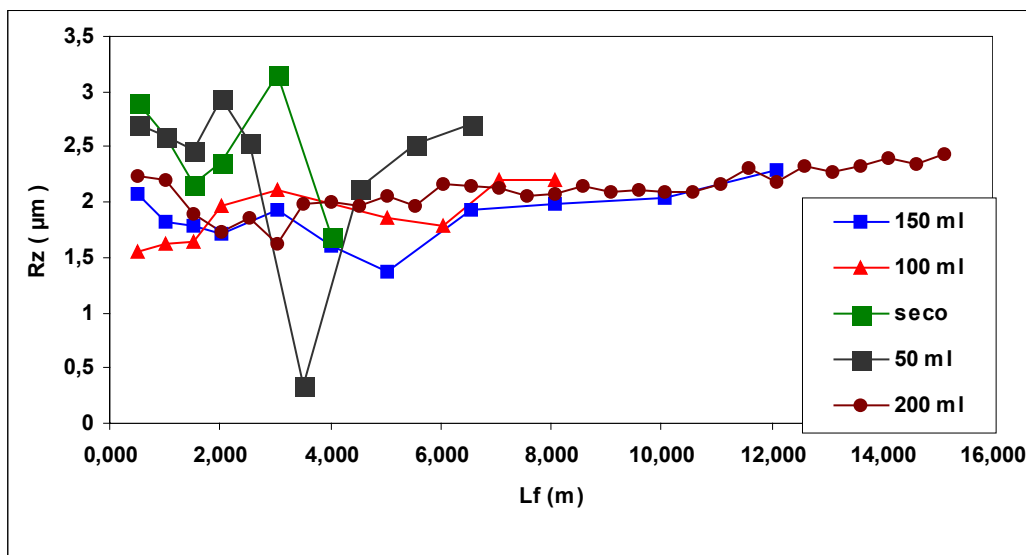


Figura 6 - Rugosidade R_z em função da vazão do fluido de corte.

Analisando-se as Figuras 5 e 6, observa-se que na usinagem a seco tem-se o maior ponto de rugosidade R_t e R_z e que este não mostra uma tendência clara de crescimento ao longo do percurso de avanço. O mesmo pode-se concluir para as vazões de 50, 100 e 150 ml/h de fluido de corte. No caso da usinagem com vazão de 200 ml/h de fluido, pode-se notar uma tendência crescente tanto no parâmetro R_t quanto no parâmetro R_z ao longo do percurso de avanço. Por outro lado, nessa vazão, observa-se maior homogeneidade no comportamento da curva, ou seja, as flutuações entre os valores encontrados são relativamente menores. Isso é desejável no processo de usinagem, pois a previsibilidade é extremamente importante.

Pode-se verificar que a vazão de 200 ml/h foi mais eficiente, pois permitiu uma menor variação dos parâmetros R_t e R_z com um maior percurso de avanço. Este maior percurso se deu pelo melhor desempenho da vazão de 200 ml/h de fluido durante a usinagem, a qual proporcionou um melhor deslizamento da ferramenta e menor geração de calor, ocasionando a redução da força de corte e por consequência a redução do desgaste da ferramenta.

4. Conclusões

Acredita-se que o ponto relevante quanto aos resultados encontrados, foi mostrar que o fluido aplicado pelo centro da fresa, mesmo na faixa de MQF, melhorou significativamente a vida da ferramenta e sem comprometer o acabamento da superfície usinada. Aliás, na maioria dos casos a qualidade da superfície fresada apresentou substancial ganho. Dessa forma, esse projeto de pesquisa, certamente abriu um imenso campo para pesquisas de base e com uma grande vantagem, a sua aplicação tecnológica é imediata. Mas a implementação do sistema MQF às máquinas atualmente disponíveis na empresa, exige alguns investimentos, realizando as seguintes adaptações: sistema de pulverização do fluido e sistema de exaustão dos gases gerados, pela própria névoa aplicada e que dissimula por todo o ambiente de trabalho.

Novas investigações, mais detalhadas e embasadas estatisticamente deverão ser implementadas, mas o certo é que o fluido em MQF melhorou substancialmente a vida das ferramentas e isso aplicado a empresas que utilizam o fresamento, pode trazer enorme redução nos seus custos de fabricação e torná-las mais competitivas no atual mercado, altamente competitivo e globalizado.

5. Referências Bibliográficas

- DA SILVA M.B., and WALLBANK, J., 1998, "Lubrication and Application Method in Machining", Industrial Lubrication and Tribology, ISSN 0036-8732, vo. 50, n^o4, pp.149-152.
- DA SILVA, M.B., MACHADO, A.R. and WALLBANK, J., 1998, "On The Mechanism of Lubrication in Single Point Cutting", 4th Int. Conf. On Behavior of Mat. In Machining: Opportunities and Prospects for Improved Operations, ISBN 1-86125-086-X, pp.79-89.
- DAGNALL, 1998, "Exploring Surface Texture", Taylor Hobson Limited, United Kingdom, UK.
- MASON, F., 2001, "Usinando a seco... ou quase a seco", *Máquinas e Metais*, N^o. 424, pág. 160-173.
- MUMMERY, L., 1992, "Surface Texture Analysis: The Handbook", Hommelwerke, Printed by Schnurr Druck, West Germany.
- RUNGE, P. F. e DUARTE G. N., 1987, "Lubrificantes nas Indústrias", Tribo Concept Edições Técnicas, São Paulo, SP, Brasil.
- SALES, W.F., 1999, "Características Refrigerantes e Lubrificantes dos Fluidos de Corte", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.
- TAYLOR, F.W., 1907, "On the Art of Cutting Metals", *ASTME Trans.*, 28, p. 31.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao FIP (Fundo de Incentivo à Pesquisa da PUC Minas), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pela disponibilização de recursos financeiros e de bolsas de iniciação científica, fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

EVALUATION OF PERFORMANCE OF THE CUTTING FLUIDS APPLIED OF MINIMUM VOLUME ON STEEL MILLING

Abstract.

The main goal of this work was to evaluate the cutting fluids performance when applied under minimum volume and burr formation evolution. Fluid was evaluated with relation to its influence on roughness and tool wear. That is, to verify the existence of correlation between flow rate of fluid, surface topography and tool life. Several experimental tests were carried out under some flow rates of cutting fluids. Therefore, after concluded the experimental analysis the results had shown that the cutting fluid applied in minimum volume was more efficient when compared with dry cutting. This occurred mainly with respect to tool life criteria.

Keywords. Cutting fluid, minimum volume, milling, tool wear, roughness.