

PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTES DE UM SISTEMA PARA APLICAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE EM MQF

Eunicezio Fernandes Dias

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, eunice.cezio@hotmail.com

Túlio Hallak Panzera

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, tuliopanzera@hotmail.com

Juan Carlos C. Rubio

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, juan@ufmg.br

Resumo. *O uso do fluido de corte causa danos à saúde humana e ao meio ambiente, mas ainda não foi possível eliminá-lo de todos os processos de fabricação. Uma alternativa é a usinagem por mínima quantidade de fluido (MQF). Neste trabalho, o projeto e a construção de um sistema para aplicação de fluido de corte em MQF foram realizados. Um mecanismo de regulagem foi desenvolvido para gerar uma névoa de composição homogênea, com fluxo variável entre 5ml/h e 200ml/h. Os parâmetros avaliados foram força de avanço e rugosidade superficial. Apresentando resultados de força de avanço e de rugosidade similares ao sistema convencional, o sistema MQF mostra ser uma opção adequada de aplicação de fluidos de corte, para o processo de furação, nas condições ensaiadas, com a vantagem da redução do impacto ambiental.*

Palavras-chave: *usinagem, mínima quantidade de fluido (MQF).*

1. INTRODUÇÃO

O fluido de corte quando bem selecionado e aplicado traz benefícios à usinagem. Porém, independentemente da boa escolha, ele também pode acarretar prejuízos ao meio ambiente e à saúde humana. Os danos ao meio ambiente são representados pelo tempo que a natureza necessita para absorver estes produtos, que são emulsões, fumaça lançadas na atmosfera e dejetos lançados no esgoto. Os danos à saúde humana podem ser doenças do tipo causadas pelo contato do fluido de corte com a pele e doenças relacionadas à inalação de gases e névoas geradas durante a usinagem. Para minimizar tais danos as indústrias têm investido em tecnologias que possibilitem a usinagem a seco, principalmente para os casos em que o fluido de corte é prejudicial, e em usinagem com mínima quantidade de fluido, para os casos em que a usinagem a seco ainda não se mostra favorável.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a construção de um sistema para aplicação de Mínima Quantidade de Fluido (MQF), e o seu teste no processo de furação, através da investigação dos parâmetros força de avanço e rugosidade superficial da parede do furo, comparando estes resultados com o sistema convencional de aplicação de fluido de corte.

3. REVISÃO TEÓRICA

Já se sabe que o uso de refrigerante em alguns processos de usinagem reduz a vida útil da ferramenta, mas a usinagem a seco não é possível a todos os processos. Além disto, ainda existe a

possibilidade de se atingir resultados que sejam mais viáveis que com a usinagem a seco ou com refrigeração por imersão. Segundo Machado et al.⁽¹⁾ a usinagem a seco necessita de máquinas especiais que suportem velocidades de corte mais altas, além de ferramentas com recobrimentos especiais que resistam às temperaturas mais altas geradas pelo processo.

O descarte do fluido de corte na natureza é de especial preocupação tanto pelos danos ecológicos, quanto pelas legislações cada vez mais rígidas. É necessário buscar um consenso entre economia, ecologia e tecnologia. Byrne⁽²⁾ explica que até 30% do consumo de fluido de corte se deve à vazamentos, respingos, impregnação nos cavacos, peças e acessórios. O autor defende que a usinagem a seco traz benefícios econômicos, ecológicos e à saúde dos funcionários.

Industrialmente, a técnica da MQF utiliza fluido de corte integral, ou seja, sem adição de água. Lohbauer e Simon⁽³⁾ citam ésteres vegetais (ácidos graxos) derivados da cultura de oleaginosos para a indústria. Os óleos vegetais efetivamente acumulam propriedades interessantes: fluidez, capacidade de reduzir os atritos e desgastes, ponto de fulgor elevado, boa resistência ao cisalhamento, inexistência de toxicidade e biodegradabilidade. O ponto fraco é o seu desempenho medíocre relativo à oxidação e a hidrólise, mas que é superado em algumas formulações. Não se recomenda o uso de refrigerantes que são projetados para sistemas de refrigeração convencionais, devido à possibilidade de forte atomização, o que é prejudicial à saúde dos operários.

As formas de se gerar um spray de fluido de corte podem ser através da mistura de ar e fluido de corte a pressões controladas, ou a simples pulverização do fluido de corte. Segundo Novaski e Dor⁽⁴⁾ e Weigaertner et al⁽⁵⁾, o uso de fluido de corte deve estar entre uma faixa de 10 a 100ml/h. Os resultados já obtidos com a técnica da MQF comprovam a viabilidade do seu uso. Um estudo realizado por recomendação da “Comissão de Mecânica Industrial” da França, mostra que ela se revela vantajosa especialmente em operações de contato interrompido entre ferramenta e peça, por exemplo, operações com serras e fresas [Ollier et al. *apud* Lohbauer e Simon⁽³⁾]. No entanto a única informação sobre o sistema utilizado no estudo é que a vazão é controlada por uma micro-bomba dosadora e pulverizado por sopro através de um bico especial. Em experimento que reuniu oito diferentes óleos parafínicos representativos do mercado, declaram como boa característica a não formação de névoa no decurso da usinagem. Utilizando como critério de comparação o desgaste da ferramenta, observaram que para o fresamento com fresas helicoidais de aço rápido, ocorreram desgaste de cratera e desgaste de sulco, menores que com a lubrificação por inundação, principalmente em operações de acabamento. Em operações de desbaste, as ferramentas quebraram, mostrando que houve aumento da força de corte. Na furação, o critério de comparação foi o desgaste das brocas de aço rápido, de acordo com número de furos, em diferentes velocidades de corte e avanço. Nestes ensaios houve muita variação de acordo com o tipo de fluido de corte e tipo de material usinado.

A fadiga térmica, choques térmicos provocados pela aplicação de fluido de corte quando não há geração de calor, ou seja, no intervalo entre dois furos, pode explicar o desgaste das brocas principalmente em condições muito severas, chegando a concluir que para a furação, qualquer quantidade de fluido de corte é prejudicial em termos de desgaste [Weigaertner et al⁽⁵⁾]. Os resultados mostram que a furação a seco afeta o diâmetro resultante do furo e a força de corte. A análise dos resultados mostra que a MQF produz em linhas gerais resultados intermediários muito próximos da refrigeração por inundação, com a vantagem da redução do impacto ambiental.

Utilizando MQF, as operações de torneamento tiveram como parâmetros a vida útil da ferramenta, perfil do corte e estados da superfície da peça. Neste trabalho também ocorreram variações de acordo com cada tipo de material, fluido de corte e natureza da operação. O contato permanente da ferramenta com o material impede a refrigeração adequada. Ocorreu aquecimento da peça e liberação de fumaça [Novaski e Dor⁽⁷⁾]. A liberação de fumaça indica a ocorrência de resfriamento por entalpia de evaporação, ou seja, a quantidade de fluido aplicada não foi suficiente para resfriar o conjunto ferramenta-cavaco [Heisel et al.⁽⁶⁾]. Esta condição de refrigeração deve ser evitada, pelo menos por não se conhecer os efeitos da fumaça. Isto significa que a determinação da “mínima” quantidade de fluido de corte deve ser melhor investigada, e mecanismos de controle desta quantidade devem ser desenvolvidos.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1. Projeto do sistema de fluido de corte em MQF

A escolha do sistema para a formação de *spray* de fluido de corte baseou-se na facilidade construtiva e disponibilidade de máquinas, equipamentos e materiais para a realização do trabalho. Este sistema será composto por uma câmara misturadora, um reservatório, válvula de controle do fluxo de óleo e válvula de controle do fluxo de ar.

Para evitar variação na proporção da mistura pela condensação de fluido de corte na parede da tubulação, a mistura será formada próxima à região de aplicação. Com isto a câmara tem também a função de bico aplicador. Isto limita as dimensões da câmara à mesma ordem de grandeza dos bicos convencionais. A válvula de controle do fluxo de fluido de corte está incorporada à câmara misturadora, próximo ao orifício de saída. A Figura 1 mostra os detalhes construtivos da câmara misturadora.

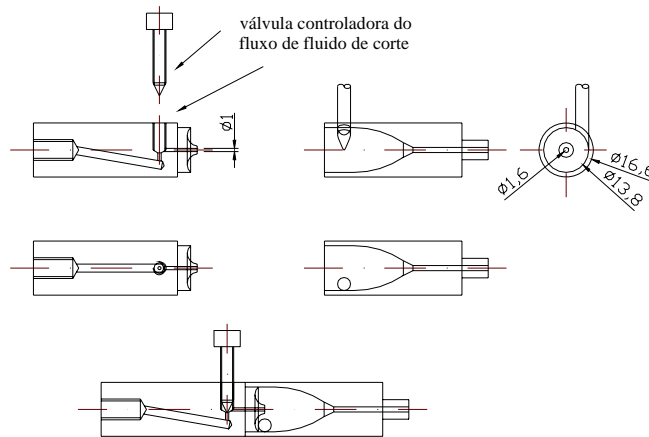


Figura 1. Detalhes construtivos da câmara misturadora.

A Figura 2 mostra a fotografia da câmara misturadora construída para os ensaios com MQF, fabricada com acrílico transparente, permitindo também visualizar o processo de formação do aerossol dentro da câmara.

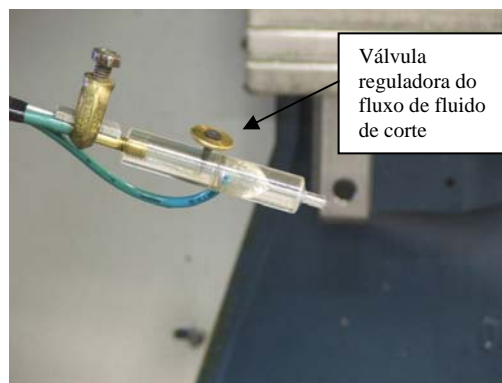


Figura 2. Fotografia da Câmara misturadora.

O corpo do reservatório foi fabricado com acrílico transparente, permitindo o controle do nível de fluido de corte. As tampas foram fabricadas de alumínio. Na tampa superior do reservatório foi instalada uma válvula de controle de fluxo de ar. A montante da válvula possui uma comunicação com o interior do reservatório para pressurizar o fluido de corte e conduzi-lo à câmara misturadora. O reabastecimento de fluido de corte é feito através do furo com rosca na tampa superior, com o

suprimento de ar fechado. Foi instalada uma válvula para limitar o fluxo de ar a fim de simular a mesma condição de um ensaio realizado por Weingartner et al.⁽⁵⁾, que consiste em um furo com diâmetro de 1mm e pressão de 6bar. A saída do fluido de corte se dá pela tampa inferior. O projeto das duas tampas e a ausência de uma membrana impermeável, que isole o ar e o fluido de corte, implica que o reservatório deve ser mantido na posição vertical durante o funcionamento. A Figura 3 exibe o desenho e as dimensões de projeto, dadas em milímetro, da montagem do reservatório.

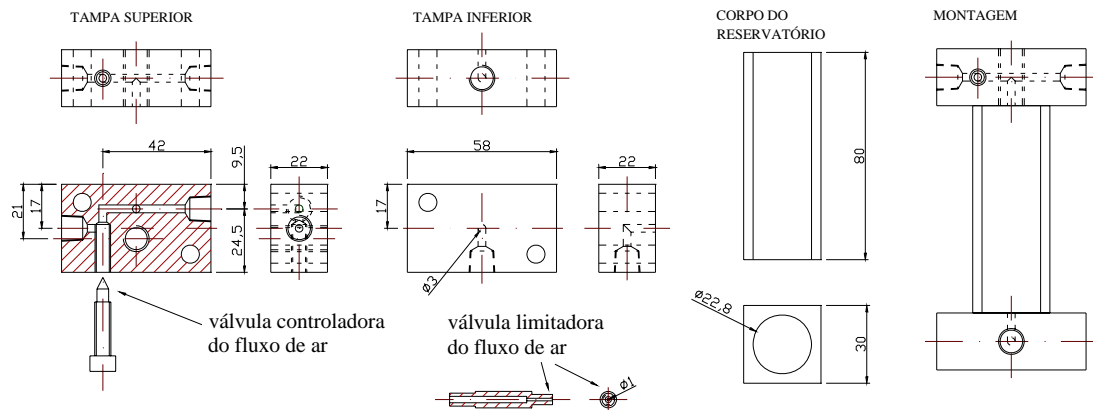


Figura 3. Detalhes da montagem do reservatório.

A Figura 4 exibe o reservatório de fluido de corte construído para os ensaios com MQF.

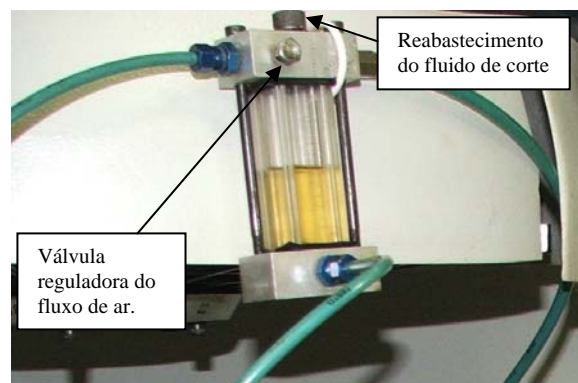


Figura 4. Fotografia do reservatório de fluido de corte.

O fluido de corte usado no sistema MQF será o óleo Ecolub PR VG, vegetal, para aplicação integral, fabricado pela Tecno Lubrificantes.

4.2. Sistema Convencional

O sistema de refrigeração convencional utilizado será o da máquina de usinagem, consistindo em jatos de fluido de corte, aplicado por três bicos. O fluido de corte utilizado neste ensaio será o HCA, fabricado pela Tecno Lubrificantes, diluído em água à proporção de vinte para um.

4.3. Escolha dos fatores e níveis experimentais

A escolha dos fatores e níveis experimentais foi baseada em estudos de MQF anteriormente realizados por Weingartner et al.⁽⁵⁾, onde diferentes condições de refrigeração foram usadas para uma única condição de usinagem. O processo de usinagem investigado neste experimento foi “furação”. Esta escolha se baseou na simplicidade do processo, facilidade de se alcançar a mesma condição de usinagem em vários testes e as dificuldades de se resfriar a ferramenta, uma vez que se trata de um processo fechado, com dificuldade de refrigeração.

Dois fatores experimentais serão investigados: vazão de fluido de corte e percurso de avanço. A Tabela 1 apresenta as quatorze condições experimentais realizadas neste experimento. O fator percurso de avanço será investigado em dois níveis, 14mm e 40mm e o fator vazão de fluido de corte em sete níveis, sendo os seis primeiros em MQF e o sétimo por inundação: 5ml/h, 10ml/h, 30ml/h, 50ml/h, 100ml/h, 170ml/h e jato, respectivamente.

Tabela 1. Condições experimentais (fatores e níveis).

<i>Setup</i>	Percurso de avanço [mm]	Vazão MQF [ml/h]
1	14	5
2	14	10
3	14	30
4	14	50
5	14	100
6	14	170
7	14	Jato
8	40	5
9	40	10
10	40	30
11	40	50
12	40	100
13	40	170
14	40	Jato

Três ensaios serão realizados para cada condição experimental, sendo assim, serão necessários 42 brocas. A escolha das brocas de 11mm se deve a necessidade de penetração do apalpador para medição da rugosidade. Cada ensaio de furação será realizado para um comprimento de furo de 280mm utilizando-se a mesma broca. Este critério conduz às seguintes condições para o uso de uma broca com diâmetro de 11mm: 7 furos com 40mm de avanço e 20 furos com 14mm de avanço. Os parâmetros de usinagem aconselhados por fabricantes de ferramentas e máquinas, são: $V_c = 35\text{m/min}$ e $f_n = 0,09\text{mm/rev}$. O material usado no ensaio foi barra de aço ABNT 1020 laminado a frio. Na preparação dos corpos de prova, fresou-se 1mm na superfície do material para retirar possíveis encruamentos que poderiam afetar os ensaios.

4.4. Escolha das variáveis-respostas

As variáveis-respostas utilizadas neste experimento foram: força de usinagem e rugosidade superficial. A força de usinagem será medida por um dinamômetro na direção do avanço. Este sistema avalia somente a componente força de avanço, que será usada para comparação. A medição do acabamento da superfície usinada será realizada através da utilização de rugosímetro, modelo *Surfest 301* fabricado pela *Mitutoyo*, ajustado para comprimento de amostragem (*cut off*) de 0,8mm.

4.5. Ensaio de furação

A máquina utilizada para realização do ensaio foi o centro de usinagem CNC modelo Discovery 560 fabricado pela Romi. Os furos foram realizados em um único movimento, sem parada ou retorno para quebra de cavacos. A Figura 5 mostra a fotografia da montagem do experimento, onde podem ser observados: o sistema MQF, o sistema convencional, uma ferramenta de corte (broca) preso ao mandril da fresadora, um corpo de prova (peça) preso ao dinamômetro. O dinamômetro foi fixado à mesa do centro de usinagem e a ele foi fixada a peça para medição da força de avanço. O sistema de medição da força de avanço consiste em um dinamômetro piezeletrico Kistler (modelo

9257BA), um amplificador de carga (modelo 5233A) e um sistema de aquisição de dados (placa 2855A3) conectado ao software *DynoWare*.



Figura 5. Detalhe do ensaio de furação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Força de avanço

As médias e desvios padrão dos resultados de força de avanço podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da força de avanço.

Setup	Percurso de avanço [mm]	Vazão MQF [ml/h]	Força de avanço média [N]	Desvio-padrão [N]
1	14	5	1473,64	34,55
2	14	10	1426,53	13,10
3	14	30	1367,34	22,31
4	14	50	1312,52	22,70
5	14	100	1265,26	29,57
6	14	170	1357,42	20,44
7	14	Jato	1437,43	20,41
8	40	5	1775,21	35,16
9	40	10	1689,23	36,36
10	40	30	1594,98	36,63
11	40	50	1572,65	24,86
12	40	100	1377,32	40,53
13	40	170	1389,17	26,40
14	40	Jato	1413,34	30,74

Baseando-se nos dados da Tabela 2, construiu-se o gráfico da Figura 6, mostrando o comportamento da força de avanço em função da vazão do fluido de corte e do percurso de avanço.

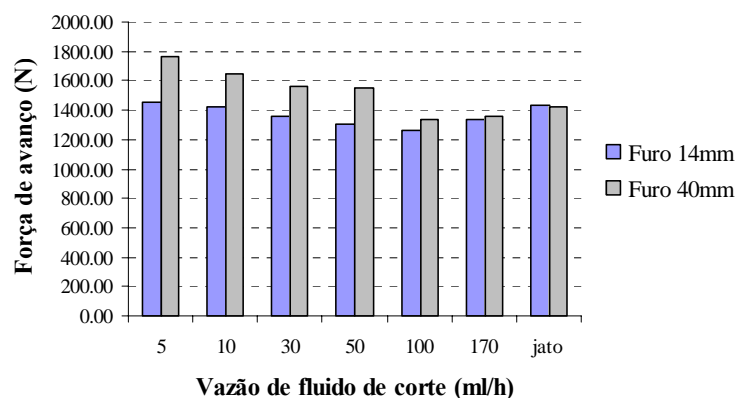


Figura 6. Força de avanço em função da vazão de fluido e percurso de avanço.

A força de avanço exibe uma variação em função do percurso de avanço. Esta diferença foi reduzida com o aumento da vazão de fluido de corte.

A força de avanço não apresenta uma diferença significativa entre os dois percursos de avanço no sistema de refrigeração convencional (jato).

A menor força de avanço foi obtida quando a vazão de fluido de corte em MQF foi de 100ml/h.

O aumento da vazão de fluido de corte no sistema MQF de 100ml/h para 170ml/h não foi significativo.

A diferença percentual entre a vazão de fluido de 100ml/h (MQF) e o sistema convencional é de aproximadamente 13% para o avanço de 14mm e 3% para o avanço de 40mm. Isto torna a aplicação do sistema MQF bastante promissora.

5.2. Rugosidade superficial

As médias e desvios padrão dos resultados de rugosidade superficial podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados da rugosidade superficial.

Furo	Percurso de avanço [mm]	Vazão MQF [ml/h]	Rugosidade média (Ra) [μm]	Desvio-padrão [μm]
1	14	5	22,95	2,91
2	14	10	19,65	2,95
3	14	30	17,48	3,58
4	14	50	16,89	2,18
5	14	100	20,43	1,81
6	14	170	18,54	3,15
7	14	Jato	17,2	1,63
8	40	5	19,4	2,35
9	40	10	17,21	2,85
10	40	30	11,65	1,74
11	40	50	12,5	2,77
12	40	100	13,23	3,03
13	40	170	9,76	1,99
14	40	Jato	7,3	1,88

A Figura 7 exibe o gráfico dos resultados de rugosidade superficial média em função da vazão do fluido de corte e percurso de avanço.

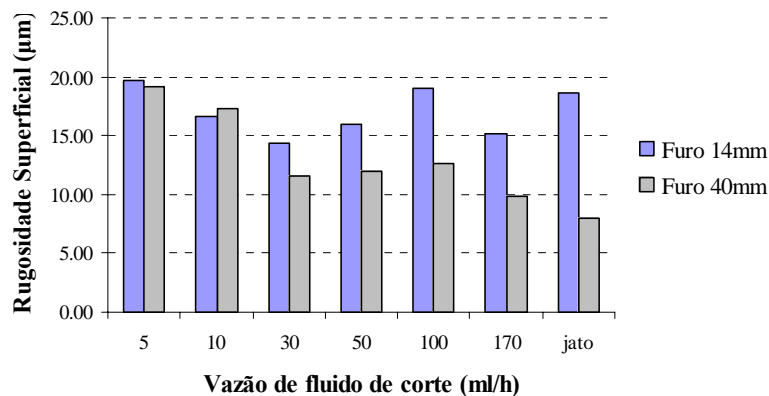


Figura 7. Rugosidade superficial (Ra) em função da vazão do fluido e percurso de avanço.

O percurso de avanço de 40mm exibe valores de rugosidade superficial inferiores ao avanço de 14mm. Esta diferença é mais acentuada para vazões de fluido de corte menores. Isto pode ser explicado pelo fato de furos mais compridos proporcionarem o alisamento da parede do furo, visto que as guias cilíndricas das brocas passam mais vezes pela superfície usinada.

É possível observar na Figura 7 uma redução da rugosidade superficial à medida que a vazão do fluido de corte é aumentada, isto é mais evidente para ao percurso de avanço de 40mm.

Apesar da menor rugosidade superficial ser exibida pelo sistema de refrigeração convencional usando o percurso de avanço de 40mm, nota-se uma pequena diferença entre este sistema e o de MQF com vazão de 170ml/h. Por outro lado, o sistema MQF demonstra ser promissor em percursos de avanço menores.

A vazão de fluido de corte de 30ml/h exibe a menor rugosidade superficial com o percurso de avanço de 14mm.

6. CONCLUSÕES

O projeto e a construção do sistema de MQF foram realizados com sucesso, permitindo a regulação de parâmetros importantes, como fluxo de ar e fluxo de óleo, para execução do experimento.

A menor força de avanço foi obtida quando a vazão de fluido de corte em MQF foi de 100ml/h.

O percurso de avanço de 40mm exibe valores de rugosidade superficial inferiores ao avanço de 14mm. Esta diferença é mais acentuada para vazões de fluido de corte menores.

A rugosidade superficial é reduzida à medida que a vazão do fluido de corte é aumentada, isto é mais evidente para ao percurso de avanço de 40mm.

A menor rugosidade superficial é exibida pelo sistema de refrigeração convencional no percurso de avanço de 40mm.

Por outro lado, o sistema MQF demonstra ser promissor em avanços menores. A vazão de fluido de corte de 30ml/h exibe a menor rugosidade superficial com o percurso de avanço de 14mm.

Apresentando resultados de força de avanço e rugosidade superficial similares ao sistema convencional, o sistema MQF mostra ser uma opção adequada de lubrificação para o processo de furação, com a vantagem da redução do impacto ambiental.

7. REFERÊNCIAS

1. MACHADO, Álisson R. e da Silva, Márcio B. **Usinagem dos Metais**. 4. ed. Uberlândia: Editora Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Apostila. 1999. 174 p.
2. BYRNE, G. Usinagem em Ambiente Limpo: Não se Trata Apenas de Uma Questão de Higiene. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v.1, n.363, p. 66-80, abr. 1996.
3. LOHBAUER, I. A. e SIMON, A. T. A Micropulverização Posta a Prova. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v.1, n.405, p. 64-269, out. 1999.
4. NOVASKI, O. e DORR, J. Usinagem Sem Refrigeração. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v.1, n.398, p. 18-27, mar. 1999.
5. WEIGAERTNER, W., SCHROETER, R. e TEIXEIRA, C. R. As Influências da Minimização do Fluido de Corte. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v.1, n.408. p. 52-59, jan. 2000.
6. HEISEL, U., LUTZ, M. SPATH, D., WASSMER, R e WALTER, U. A técnica da Quantidade Mínima de Fluidos e Sua Aplicação nos Processos de Corte. **Máquinas e Metais**, São Paulo, v.1, n.385, p. 22-38, fev. 1998.
7. NOVASKI, O. e DORR, J. A Usinagem Quase a Seco. **Máquinas e Metais**, São Paulo. v.1, n.406, p. 34-41, nov. 1999.

DESIGN, MANUFACTURING AND TESTS OF A MIXTURE SUPPLY SYSTEM FOR MACHINING WITH MINIMAL QUANTITY LUBRICATION

Eunicezio Fernandes Dias

Federal University of Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, eunice.cezio@hotmail.com

Túlio Hallak Panzera

Federal University of Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, tuliopanzera@hotmail.com

Juan Carlos C. Rubio

Federal University of Minas Gerais

Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, juan@ufmg.br

***Abstract.** The minimal quantity lubrication (MQL) technique is used in cutting processes in order to reduce the environmental pollution caused by flood cooling lubricants. This work aims to the develop a new cutting fluid supply mechanism using MQL. The amount of fluid in MQL system was set between 10ml/h and 100ml/h. The experimental results using MQL, such as cutting force, and surface finish were compared with the results obtained using conventional coolant supply. The results exhibited by MQL system shown to be an adequate fluid supply in comparison to the conventional system. Consequently, it is concluded that the new system is expectable as one of the ecological-friendly machining methods.*

Keywords: machining, minimal quantity lubrication (MQL).