

# FURAÇÃO COM REDUÇÃO DA QUANTIDADE DE FLUIDO LUBRI-REFRIGERANTE

**Andréia Vanessa Finimundi**  
[avfinimu@ucs.br](mailto:avfinimu@ucs.br)

**Ana Paula Verruck**  
[apverruc@ucs.br](mailto:apverruc@ucs.br)

**Elizangela Ballardin Xavier**  
[elibaxavier@gmail.com](mailto:elibaxavier@gmail.com)

**Rodrigo Panosso Zeilmann**  
[rpzeilma@ucs.br](mailto:rpzeilma@ucs.br)

**Resumo:** Estudos para redução ou eliminação do uso de fluidos de corte nos processos de usinagem vêm se tornando cada vez mais importantes devido ao aumento de preocupações com o meio ambiente e com a saúde dos operadores de máquinas-ferramentas. No entanto, o comportamento do processo de usinagem em condições severas de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes é diferenciado e ainda não compreendido. Desta forma, dentre outros pontos de estudo, são necessárias avaliações referentes à superfície gerada e à vida da ferramenta de corte em tais condições. Este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento de brocas helicoidais de aço-rápido HSS M2 no processo de furação do aço DIN 1.2711 endurecido (dureza entre 38 e 43 HRc) com aplicação de ar comprimido e com Mínima Quantidade de Fluidos de Corte (MQF). O principal objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade superficial da parede do furo quando o processo é realizado sob condições severas de aplicação de fluido, sendo também monitorado o número de furos. Os resultados mostraram um melhor desempenho para as brocas com aplicação de MQF, o qual apresentou os menores valores de rugosidade e a maior vida da ferramenta. Para furação com ar comprimido a rugosidade média aritmética  $R_a$  ficou abaixo de  $10,03 \mu\text{m}$ , enquanto que na condição com aplicação de MQF, a rugosidade foi menor que  $8,00 \mu\text{m}$ .

**Palavras-chave:** MQF, Ar Comprimido, Rugosidade, Textura, Deformação Plástica.

## 1. INTRODUÇÃO

As operações de usinagem são aplicadas nos mais diversos segmentos produtivos, sendo essas as mais empregadas dentre todos os processos de manufatura nas indústrias do setor metal-mecânico <sup>(1)</sup>. O processo de furação é uma das operações de usinagem mais utilizadas e, em relação a outros processos, é classificada como relativamente difícil. Um de seus problemas é o transporte do cavaco. Se os cavacos não forem formados de maneira que propicie fácil retirada do interior do furo, podem causar o entupimento dos canais da broca e, conseqüentemente, a quebra da ferramenta <sup>(2)</sup>. Os gumes ficam expostos a uma elevada carga térmica e o acesso do fluido lubri-refrigerante é dificultado <sup>(3)</sup>.

Na usinagem, os fluidos de corte apresentam funções primárias, tais como refrigeração, lubrificação e transporte do cavaco da região de corte. A ausência destas funções pode acarretar em um aumento das temperaturas, que propiciam os mecanismos de desgaste, com conseqüente redução na vida útil. O efeito da refrigeração tem um impacto adicional no comportamento térmico da máquina e, conseqüentemente, na sua precisão. O efeito lubrificante adquire também grande importância quando a operação de usinagem ocorre a baixas velocidades de corte, para evitar a formação do gume postiço <sup>(4)</sup>. Embora com significativa importância dentro da produção no setor metal-mecânico (melhoria no acabamento, expulsão de cavaco da região de corte e controle dimensional), os fluidos de corte vem encontrando, durante os últimos anos, sérias restrições com relação ao seu uso nos processos de usinagem. Sendo assim, há uma tendência mundial pela redução e/ou eliminação da aplicação dos fluidos na usinagem. Os fatores importantes que justificam este procedimento incluem os altos custos operacionais, as questões ecológicas, as exigências legais relacionadas à preservação do meio ambiente e a saúde do ser humano. Porém, em muitos casos a refrigeração ainda é essencial para se obter vidas econômicas de ferramentas e qualidades superficiais e dimensionais requeridas <sup>(5, 6, 7)</sup>.

Para que a utilização do fluido lubri-refrigerante seja minimizada, duas técnicas têm sido experimentadas: o corte completamente sem fluido ou com aplicação de ar comprimido, e o com Mínima Quantidade de Fluido (MQF), no qual uma quantidade muito pequena de óleo é fornecida ao gume através de utilização de ar comprimido. Neste caso, uma quantidade reduzida de óleo é utilizada na lubrificação e o ar comprimido é o componente principal na condução do óleo e para auxiliar na retirada de cavacos <sup>(8, 9)</sup>.

Na usinagem com MQF e com aplicação de ar comprimido, tem-se a carência das funções primárias. Assim, verifica-se que na ferramenta são intensificadas as solicitações térmicas e o desgaste e, na peça são alteradas as precisões de forma e de medida, a qualidade da superfície usinada e as influências sobre a integridade do material <sup>(10, 11)</sup>. Para uma compensação da perda das funções primárias do fluido lubri-refrigerante, é necessária a correta escolha do material e da geometria da ferramenta, dos revestimentos destas e da adequação das condições de usinagem <sup>(11)</sup>.

O acabamento sofre influência de vários parâmetros de usinagem, incluindo a geometria da ferramenta de corte, geometria da peça, rigidez da máquina-ferramenta, material da peça, condições de corte e material da ferramenta <sup>(12)</sup>. Sendo assim, são importantes os estudos para avaliação da qualidade superficial gerada neste processo sob condições de redução ou eliminação de fluidos lubri-refrigerantes, mesmo que estes sejam para geração de informações complementares que possibilitam a melhor compreensão dos demais critérios de usinabilidade. Como o processo de furação apresenta várias particularidades e condição severa de corte, este pode ser um processo interessante para a avaliação da redução da quantidade dos fluidos de corte.

O desgaste da face (superfície de saída) da ferramenta aumenta o atrito entre esta e o cavaco, aumentando a força de corte. Conseqüentemente, há uma influência no processo de deformação plástica da peça, na zona de formação do cavaco <sup>(13)</sup>. Isto acarreta uma modificação da micro-estrutura granular da superfície da peça, alterando também seu diâmetro e a rugosidade da superfície. De um modo geral, a deformação plástica é a deformação permanente provocada por tensão igual ou superior ao limite de escoamento <sup>(14)</sup>.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade superficial e sub-superficial dos furos obtidos a partir do uso de brocas de HSS M2, sob condições severas de aplicação de fluidos de corte, isto é, com aplicação de MQF e ar comprimido, no processo de furação do aço DIN 1.2711. Foram analisadas as rugosidades, a textura da parede dos furos e as deformações plásticas, ao longo do número de furos realizados.

## 2. METODOLOGIA

Nos ensaios experimentais foram utilizadas brocas helicoidais de aço-rápido M2, com diâmetro de 8 mm. O processo de furação foi realizado em cheio, sem a necessidade de furos de centro ou pré-furos, com a utilização de ciclo pica-pau intermitente para facilitar a saída de cavaco. A

profundidade de cada furo usinado correspondeu a 40 mm, sendo considerado furo profundo (cinco vezes o diâmetro da broca). O corpo-de-prova de aço DIN 1.2711, com dureza entre 38 e 43 HR<sub>c</sub>, foi fixado a zero grau (0°) em relação à mesa do Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, com rotação máxima no eixo-árvore de 6.000 rpm e potência de 7,5 kW. A figura 1 ilustra o processo de furação realizado com aplicação de MQF, no qual o atomizador de óleo utilizado foi um Nebulizador Tapmatic II.



Figura 1. Processo de furação realizado com aplicação de MQF.

As brocas foram ensaiadas sob condições de aplicação externa de MQF (óleo sintético, pressão de quatro bar e vazão de 40 ml/h) e aplicação de ar comprimido (pressão quatro bar). Em todos os ensaios teve-se o cuidado para que o eixo do bico de aplicação de fluido formasse um ângulo de trinta graus (30°) com o eixo de rotação da ferramenta.

Para definição dos parâmetros de corte mais adequados para a realização dos ensaios (velocidade de corte –  $v_c$ , avanço por gume –  $f_z$  e incremento do avanço intermitente –  $i$ ) foram realizados pré-ensaios com variação destes parâmetros. Para cada variação foram realizadas repetições. A tabela 1 apresenta a variação dos parâmetros de corte realizados nos pré-testes.

Tabela 1. Variação dos parâmetros de corte nos pré-testes.

$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]	$i$ [mm]
7; 10; 12; 15	0,017; 0,025; 0,030; 0,080	1; 1,5; 3

Após a análise do comportamento da qualidade superficial e do desgaste das ferramentas utilizadas nos ensaios preliminares, foram definidos quais os parâmetros de corte que seriam utilizados nos ensaios experimentais. A tabela 2 mostra os parâmetros selecionados.

Tabela2. Parâmetros selecionados para os ensaios experimentais.

$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]	$i$ [mm]
12	0,017	1,5

As brocas foram monitoradas através dos critérios de fim de ensaio pré-determinados: VB = 0,20 mm; VB<sub>máx</sub> = 0,60 mm; ou pela ocorrência de ruído, ou ainda micro-lascamento no gume, sendo determinante o que se apresentar primeiro. Desta forma, as brocas foram medidas e observadas a cada dois furos. Para a análise da qualidade superficial foram medidos os principais parâmetros de rugosidade ( $R_a$ ,  $R_z$ , e  $R_{máx}$ ) com auxílio de um rugosímetro Taylor Hobson, e avaliada a topografia da textura da superfície da parede do furo. As medidas foram realizadas no

início dos furos e em três ângulos diferentes, conforme a figura 2, e o resultado é a média destas medidas.

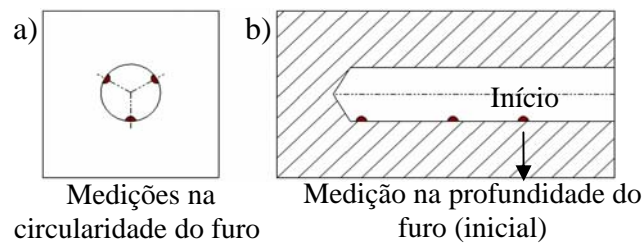


Figura 2. Esquema com as posições de medição de rugosidade.

Para a visualização microscópica da deformação plástica foi utilizado um microscópio óptico com uma câmera CCD.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos para o comportamento de rugosidade neste experimento são mostrados em forma de gráficos. Os valores plotados nos gráficos a seguir correspondem às médias das três posições medidas de rugosidade (figura 2. a), para os valores obtidos no início de cada furo. A figura 3 mostra os gráficos de comportamento de rugosidade ao longo do número de furos para a condição com aplicação de MQF, no qual a ferramenta usinou 0,72 m (18 furos).

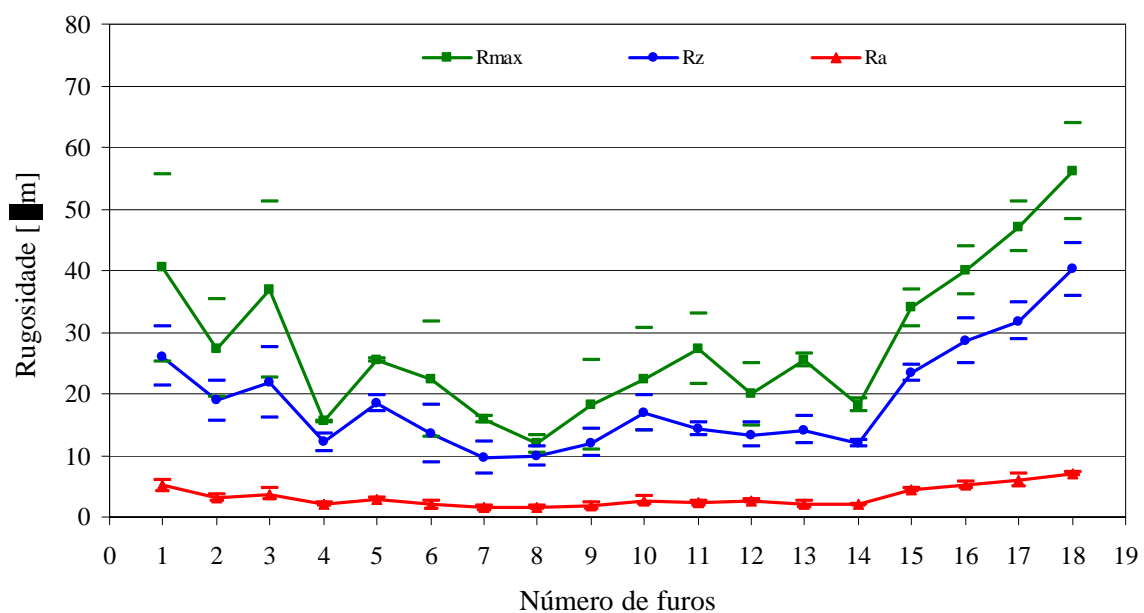


Figura 3. Gráfico com o comportamento de rugosidade da superfície de furos gerados com aplicação de MQF.

Com a aplicação de MQF, os maiores valores de  $R_a$  e  $R_z$  foram respectivamente 7,28 e 44,54  $\mu\text{m}$ . Nota-se que houve uma grande variação de valores das rugosidades ao longo do número de furos. No primeiro furo o valor da rugosidade foi bastante elevado, isto pode estar relacionado com a condição de conservação do gume que, devido ao micro-filme de lubrificação, mantém o estado novo do gume por maior período de tempo. Para esta condição, a função de lubrificação é assegurada pela mínima quantidade de óleo, que atinge a interface ferramenta/parede do furo, reduzindo o atrito, sem, no entanto, retirar significativamente a quantidade de calor, o que facilita o corte do material. Nos últimos furos observa-se um aumento da rugosidade, devido a grande quantidade de material aderido no gume da broca e também devido ao arredondamento da quina

desgastada, provocado pela severidade do corte. Este fato aponta a influência do desgaste da ferramenta sobre a qualidade superficial da peça <sup>(13)</sup>. Neste caso, o desgaste da ferramenta é ocasionado pelo fato de que apenas uma pequena quantidade de lubrificante consegue se aproximar da interface ferramenta/parede do furo, de forma que, com o aumento da profundidade, as propriedades lubrificantes diminuem (devido ao aumento de temperatura, perda da viscosidade e até a vaporização do fluido lubri-refrigerante) e a partir de certo ponto passa-se a atrito seco e inicia-se processo de aderência <sup>(10)</sup>.

A figura 4 ilustra os valores de rugosidade obtidos para a condição com aplicação de ar comprimido, onde foram usinados 0,40 m (10 furos).

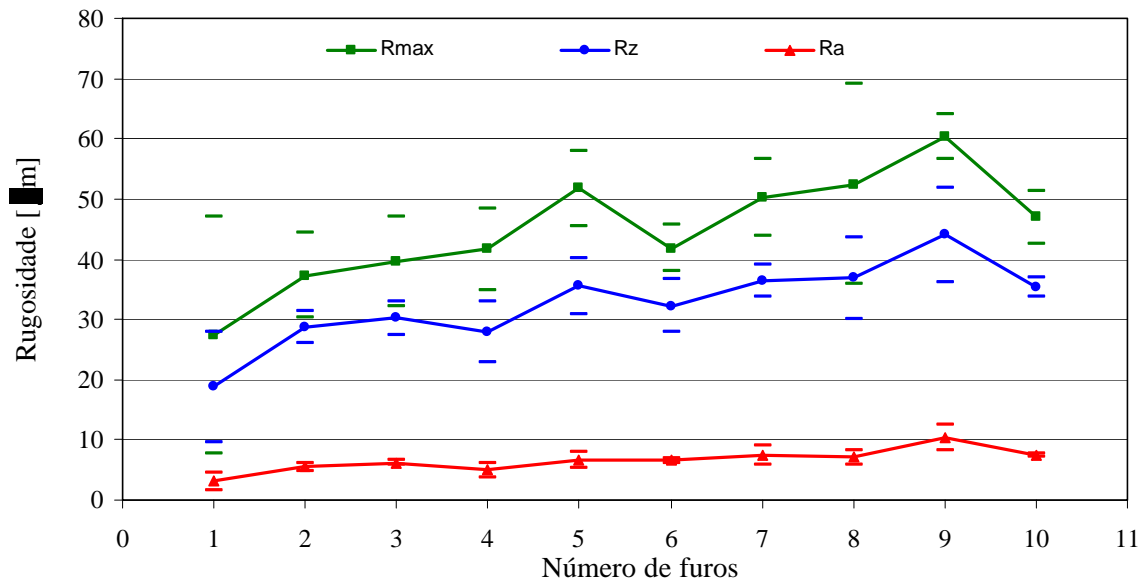


Figura 4. Gráfico com o comportamento de rugosidade da superfície de furos gerados com aplicação de ar comprimido.

No processo com aplicação de ar comprimido houve um aumento gradual nos valores de rugosidade, sendo que para o penúltimo furo obteve-se o maior valor registrado. Como as funções de lubri-refrigeração não estão disponíveis nesta operação, desde o início do corte há mais atrito e adesão entre a ferramenta e a peça. A ferramenta e a peça são submetidas a uma maior carga térmica e isso resulta em níveis mais altos de desgaste da ferramenta, e um ajuste rápido o gume em corte. No último furo ocorreu uma redução no valor da rugosidade, fenômeno este relacionado à formação de caldeamento, onde o material adere à superfície do furo e mascara a rugosidade. Este comportamento pode ter ocorrido em função das maiores solicitações térmicas as quais a broca é submetida nesta condição, o que gera um maior desgaste e uma pior qualidade superficial. Este fato comprova a ação positiva dos lubrificantes, mesmo em micro-volumes, reduzindo o atrito entre a peça e a ferramenta.

Os valores de rugosidade medidos de forma isolada não fornecem subsídios suficientes para uma avaliação rigorosa da integridade da superfície do furo. Exemplos disto são os dados de rugosidades mostrados anteriormente, onde o material aderido sobre a superfície mascara os valores. Por isso, são necessárias outras informações para uma melhor avaliação sobre a real qualidade da superfície do furo. Isto pode ser feito observando-se a parede dos furos e analisando-se a deformações plásticas geradas em corte. A figura 5 mostra fotografia da textura da parede no final dos furos obtidos para as condições de aplicação de MQF e ar comprimido.

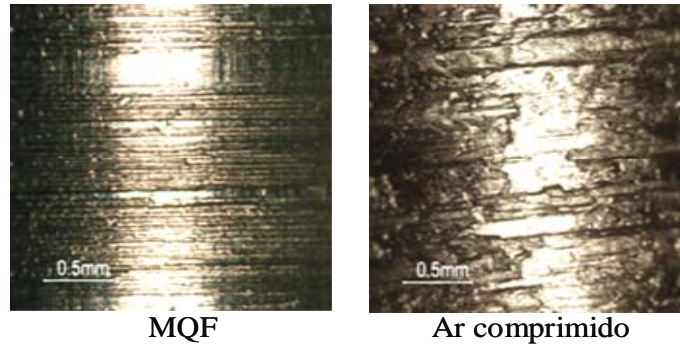


Figura 5. Fotografia da parede do final dos furos usinados com MQF e com ar comprimido.

Para a condição de aplicação externa de MQF, a superfície do furo apresentou-se de uma forma mais limpa e a marca da passagem do gume sobre a superfície mais nítida, devido ao efeito da micro-lubrificação fornecida nesta condição. Para a aplicação de ar comprimido, observa-se a presença de material caldeado sobre a parede dos furos. Nesta condição há uma degradação gradual da superfície gerado por micro-lascamentos e o atrito metálico. Este fato está relacionado ao atrito excessivo provocado pela ausência de um meio lubrificante e pela falta do meio de apoio ao transporte do cavaco gerado. Sem a presença de um meio auxiliar, o cavaco apresenta uma maior dificuldade de escoar para fora do furo, formando uma grande quantidade de material que atrita intensamente entre os canais da broca e a parede do furo, gerando assim maior calor e dificultando ainda mais o desenvolver do processo. Ambos os processos apresentaram uma tendência de aumento da rugosidade com o aumento da profundidade, em decorrência da maior dificuldade de evacuação do cavaco e falta de lubrificação no final do furo.

As deformações plásticas foram analisadas e medidas na seção transversal ao furo, resultante da velocidade tangencial em que a ponta da ferramenta manteve contato com a parede da superfície do furo gerado. A análise da deformação plástica foi feita no final do furo, considerando as máximas profundidades de alterações devido ao processo de usinagem. A figura 6 ilustra a fotografia com típica região deformada plasticamente para as condições de aplicação de MQF e de ar comprimido.

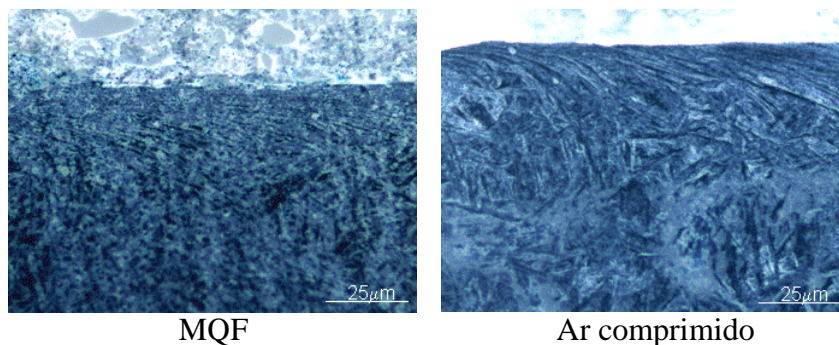


Figura 6. Fotografia com detalhes das deformações plásticas encontradas para as condições de aplicação de MQF e de ar comprimido.

Na condição de MQF, a deformação plástica encontrada atinge profundidades de 50  $\mu\text{m}$ . Já para a condição com ar comprimido, as deformações foram de aproximadamente 80  $\mu\text{m}$  de distância em relação a borda do furo. Na usinagem com ar comprimido, a elevação da temperatura acontece pela falta de refrigeração e lubrificação, beneficiando a ocorrência de deformações plásticas, conforme também aponta a literatura <sup>(10)</sup>.

## 4. CONCLUSÕES

Pela avaliação dos resultados constatou-se que pode ser viável a redução da utilização de fluidos lubri-refrigerantes no processo de furação do aço DIN 1.2711, com dureza de 38 a 43 HR<sub>c</sub>. Analisando as vidas atingidas pelas ferramentas, o MQF obteve o melhor resultado, sendo cerca de 45% superior que na furação com aplicação de ar comprimido. Para todas as ferramentas ensaiadas, o critério de fim de ensaio registrado foi o intenso ruído, ocasionado pelo grande atrito da quina arredondada pelo desgaste.

O efeito da micro-lubrificação proporcionado pelo uso de MQF contribuiu de forma efetiva para a obtenção de uma melhor qualidade superficial, mas com uma variação significativa da rugosidade. Para a condição com aplicação de ar comprimido os furos apresentaram uma piora no acabamento, inclusive com formação de caldeamento sobre a superfície da parede do furo.

A deformação plástica foi mais significativa para a condição de usinagem com ar comprimido, devido a maior severidade do processo, onde está ausente a função de lubrificação proporcionada pela mínima quantidade de fluido lubri-refrigerante utilizada no método MQF.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa financiadora deste projeto, Arwi Representações Comerciais Ltda.; à Universidade de Caxias do Sul (UCS) pela colaboração dada ao projeto *UsiMold* do Grupo de Usinagem (GUS); ao CNPq pelo apoio com bolsa de iniciação científica e à empresa Tapmatic do Brasil pelo fornecimento de seus produtos Quimatic.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. TEIXEIRA, C. R. **Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida.** 2001. 153 f. Tese (Doutorado Engenharia Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, 2001.
2. DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** 4. ed. São Paulo: Artibler, 2003. 248 p.
3. LUX, S. Ferramentas polivalentes do alto desempenho. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 482, p. 28-42, março 2006.
4. NOVASKI, O., RIOS, M. Introdução teórica e vantagens de uso na usinagem de aços liga. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 460, p. 214-223, maio 2004.
5. BELEJCHAK, P. Machining stainless steel. **Advancer Materials & Processes**, nº 12, p. 23-25, 1997.
6. HEISEL, U., LUTZ, M., SPATH, D., WASSMER, R., WALTER, U. A técnica da quantidade mínima de fluidos e sua aplicação nos processos de corte. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 294, p. 22-38, fevereiro 1998.
7. BRAGA, D.U., DINIZ, A.E., MIRANDA, G.W.A., COPPINI, N.L. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, n.122, p. 127-138, 2002.
8. MACHADO, A.R., DINIZ, A.E. Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 419, p. 134-151, dezembro 2000.
9. YOSHIMURA, H. Contribuições da manufatura para adaptação às leis ambientais. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 483, p.89-107, abril, 2006.
10. ZEILMANN, R.P. **Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte.** 2003. 170 f. Tese (Doutorado Engenharia Mecânica) - UFSC, Florianópolis-SC, 2003.
11. KLOCKE, F., GERSCHWILER, K. **Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven.** VDI Berichte 1240. 1996. p. 1 - 43.

12. MACHADO, A. R., SILVA, M. B. **Usinagem dos metais**. Laboratório de Ensino e Pesquisa de Usinagem, Universidade Federal de Uberlândia, 7ª versão, agosto 2000.
13. FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem de Metais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1977, 751 p.
14. LMC. Laboratório de Mecânica Computacional. Portal para projetos colaborativos. Disponível em <http://www.lmc.ep.usp.br>. Acesso em: 10 julho 2006.

## **DRILLING WITH MINIMAL QUANTITY OF LUBRICANT**

**Andréia Vanessa Finimundi**

[avfinimu@ucs.br](mailto:avfinimu@ucs.br)

**Ana Paula Verruck**

[apverruc@ucs.br](mailto:apverruc@ucs.br)

**Elizangela Ballardín Xavier**

[elibaxavier@gmail.com](mailto:elibaxavier@gmail.com)

**Rodrigo Panosso Zeilmann**

[rpzeilma@ucs.br](mailto:rpzeilma@ucs.br)

**Abstract:** *Studies for reduction or elimination the use of cutting fluids in the machining processes is very important. However, the behavior of the process of machining in severe conditions of cooling fluid application is differentiated and not yet understood. In such a way, amongst other points of study, they are necessary referring evaluations to the generated surface and the life of the tool of cut in such conditions. This work presents an evaluation of the behavior of helical drills of high-speed-steel HSS M2 in the process of drilling of hardened steel DIN 1,2711 (hardness between 38 and 43 HRC) with compressed air application and Minimal Quantity of Lubricant (MQL). The main objective of this study was to evaluate the surface quality, of the wall of the hole when the process is carried through under severe conditions of fluid application, being also monitored the number of holes too. The results had shown one better performance for the drills with MQL application, which presented minors values of roughness. For drilling with compressed air, the arithmetic mean roughness  $R_a$  was below of 10,03  $\mu m$ , where as in the condition with application of MQL, the roughness was minor that 8,00  $\mu m$ .*

**Keywords:** *MQL, Air, Roughness, Texture, Plastic Deformation.*