

# MINIMIZAÇÃO OU ELIMINAÇÃO DE FLUIDOS LUBRI-REFRIGERANTES VISANDO A REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS<sup>1</sup>

Rodrigo Panosso Zeilmann<sup>2</sup>  
Juliana Slomp<sup>3</sup>  
Andréia Vanessa Finimundi<sup>4</sup>

## Resumo

A gestão ambiental alcança cada vez mais importância no âmbito industrial devido a sua ligação com a qualidade de vida e a busca pelo enquadramento nas leis em vigor. O processo de usinagem ganha especial atenção, pois a eliminação total ou a não geração de um subproduto é quase inevitável, como exemplificado pelo uso dos fluidos. Os fluidos lubri-refrigerantes são utilizados principalmente para diminuir o efeito indesejado da alta temperatura gerada no processo de corte, lubrificar e auxiliar o transporte de cavaco, sendo estes de suma importância no processo de usinagem. Na busca pela melhoria na usinagem e preservação do meio ambiente, se tem por objetivo a minimização ou eliminação de fluidos lubri-refrigerantes e, conseqüentemente, a redução de alguns dos impactos finais gerados por estes de uma forma mais efetiva. Os fluidos de corte, como se sabe, são utilizados em grande escala no mundo inteiro e, mesmo com a filtração e separação dos seus resíduos, um tratamento inadequado acaba causando danos e provocando problemas entre empresas e órgãos de controle ambiental, pois o descarte deve estar de acordo com a legislação ambiental. O descarte é um processo indesejável, envolvendo um alto custo como seus procedimentos técnicos e legais. Desta forma, estudos de alternativas e métodos capazes de reduzir o impacto dos fluidos lubri-refrigerantes sobre o meio ambiente são sempre muito importantes. No entanto, uma redução ou eliminação dos fluidos de corte influenciam diretamente nos resultados dos processos de fabricação, sendo necessária uma análise completa das variáveis para melhor compreender os efeitos desta alteração sobre a usinagem. Logo, o estudo compreende a análise da viabilização de se usar sem a utilização de fluidos lubri-refrigerantes, isto é, o processo a seco; e também, em algumas situações, com a utilização de mínimas quantidades de fluido (MQF), sem a alteração da qualidade dos produtos, mas primordialmente visando a redução dos impactos gerados ao meio ambiente.

**Palavras-chave:** Usinagem; Gestão ambiental; Desgaste; Qualidade superficial.

## MINIMIZATION OR ELIMINATION CUTTING FLUIDS AIMING AT THE MINIMAL OF THE AMBIENT IMPACTS

### Abstract

The ambient management reaches each time more importance in the industrial scope which had its linking with the quality of life and the search for the framing in the laws in vigor. The machining process gains special attention, therefore the total elimination or the generation of a by-product is not almost inevitable, as exemplified for the use of fluids. The cutting fluids are used mainly to diminish the desired effect of the high temperature generated in the cut process, to lubricate and to assist the transport of splintery, being been these of utmost importance in the machining process. In the search for the improvement in the machining and preservation of the environment, if it has for objective the minimization or elimination of cutting fluids e, consequently, the reduction of some of the final impacts generated by these of a form more effective. The cutting fluids, as it is known, are used large-scale in entire world e, exactly with the filtration and separation of its residues, an inadequate treatment finish causing damages and problems between companies and agencies of ambient control, therefore the discarding must be in accordance with the ambient legislation. The discarding is an undesirable process, involving one high cost as its legal procedures technician. In such a way, studies of alternatives and methods to reduce the impact of cutting fluids on the environment are always very important. However, a reduction or elimination of cutting fluids directly influences in the results of the manufacture processes, being necessary a complete analysis of the variable better to understand the effect of this alteration on the machining. Soon, the study it understands the analysis of to make possible the machining without the cutting fluid use, that is, the process the dry one; e also, in some situations, with the use of minimum quantity of lubricant (MQL), without the alteration of the product quality, but primordially aiming at the reduction of the generated impacts to the environment.

**Key words:** Machining; Ambient management; Wear; Surface quality.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: rpzeilma@ucs.br. Coordenador do Grupo de Usinagem

<sup>3</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: jslomp@ucs.br. Grupo de Usinagem

<sup>4</sup> Acadêmica do Curso de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul. E-mail: avfinimu@ucs.br. Grupo de Usinagem

## 1 INTRODUÇÃO

No processo de usinagem é de suma importância o uso de fluidos lubri-refrigerantes, sendo estes responsáveis por introduzir melhorias no processo. Melhorias essas que possuem caráter funcional conferindo ao processo um desempenho com maior qualidade, gerando redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco, expulsão do cavaco gerado na região de corte, refrigeração da ferramenta, refrigeração da peça usinada, melhoria da qualidade superficial da peça trabalhada e refrigeração da máquina-ferramenta e melhorias de caráter econômico, tais como: redução do consumo de energia, redução dos custos da ferramenta e redução ou eliminação da oxidação na peça usinada.

Os aspectos ambientais advindos do uso dos fluidos adquirem importância devido às consequências do uso inadequado destes, acarretando pesadas multas para as empresas que descumprirem as normas de manejo. Por serem utilizados em larga escala no mundo todo, os fluidos de corte podem gerar terríveis danos ao meio ambiente se não obtiverem correto uso, destinação e tratamento.

Uma considerável parcela dos fluidos é eliminada na região de trabalho por emissões e evaporação, pelo arrastamento efetuado pelas peças e cavacos, e também com a água utilizada para a limpeza do chão fabril, ocorrendo risco de poluição do solo, da água e do ar.<sup>(1,2)</sup> Além disto, os fluidos contêm em sua composição vários elementos como aditivos, produtos de reações, fungicidas e bactericidas para manter sua estabilidade que, indiretamente são causadores de doenças ao homem.<sup>(3)</sup>

Sendo assim, os danos causados pelos fluidos lubri-refrigerantes, são custos que influenciam no valor final do bem/serviço, induzindo as empresas a pensarem de forma diferente na área ambiental.

Sabendo da importância deste componente da usinagem, propõem-se a minimização da quantidade de fluido de corte, também chamada de MQF (Mínima Quantidade de Fluido de Corte) ou MQL (Mínima Quantidade de Lubrificante), e a eliminação do uso destes fluidos (processo com aplicação de ar comprimido), sem a perda da qualidade das peças usinadas e a redução mais eficaz dos efeitos dos fluidos sobre o meio com a menor quantidade gerada, facilitando a destinação e processamentos adequados.

O conceito MQF pode ser definido como a atomização de uma quantidade mínima de lubrificante (até 100 ml/h) em um fluxo de ar comprimido. Essas quantidades mínimas de fluido são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e evitar a aderência de material, considerando-se que a área de contato cavaco ferramenta é muito pequena.<sup>(4)</sup>

Como principais fatores para o emprego de usinagem com aplicação de ar comprimido ou aplicação de MQF podem ser citados os aspectos ecológicos, econômicos e o referente à saúde do operador.<sup>(3)</sup> Além de reduzir os problemas causados à saúde humana e ao meio ambiente, estes métodos apresentam fatores econômicos atraentes para as indústrias usuárias de fluidos lubri-refrigerantes. Esta economia pode ser direta, pela redução de gastos com fluidos, ou indireta, pela redução de custo com tratamentos de efluentes, descarte, e custos referentes às questões trabalhistas.<sup>(5)</sup>

Aliando-se a importância da preservação do meio ambiente e a minimização ou eliminação dos fluidos de corte pode-se obter ganhos em todos os âmbitos. O comprometimento das empresas com o melhor entendimento do funcionamento dos métodos de utilização de fluidos lubri-refrigerantes abrirá caminhos para uma

produção mais comprometida ambientalmente, permitindo a satisfação das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades.

Na usinagem com MQF e com aplicação de ar comprimido, tem-se a carência das funções fornecidas pelos fluidos, 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 sobre a integridade do material fabricado.<sup>(5,6)</sup> O comportamento do processo de usinagem em condições severas de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes é diferenciado e ainda não compreendido. Por exemplo, o processo de furação com aplicação de MQF ou de ar comprimido exige muito estudo e trabalho, pois ainda não se conhecem todos os efeitos mecânicos e térmicos gerados sobre a máquina-ferramenta, sobre a peça em trabalho e sobre a ferramenta de corte. Desde modo, com a finalidade de contribuir na geração de conhecimento técnico científico, este trabalho avalia o processo de furação do aço DIN 1.2711 com aplicação de MQF e de ar comprimido.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

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. 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. 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.

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-ensaios.

**Tabela 1:** Variação dos parâmetros de corte realizada em pré-ensaios.

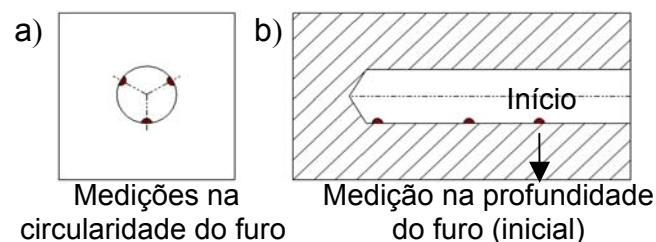
$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]	$i$ [mm]
7; 10; 12; 15	0,017; 0,025; 0,030; 0,080	1; 1,5; 3

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.

**Tabela 2:** Parâmetros selecionados para os ensaios experimentais.

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

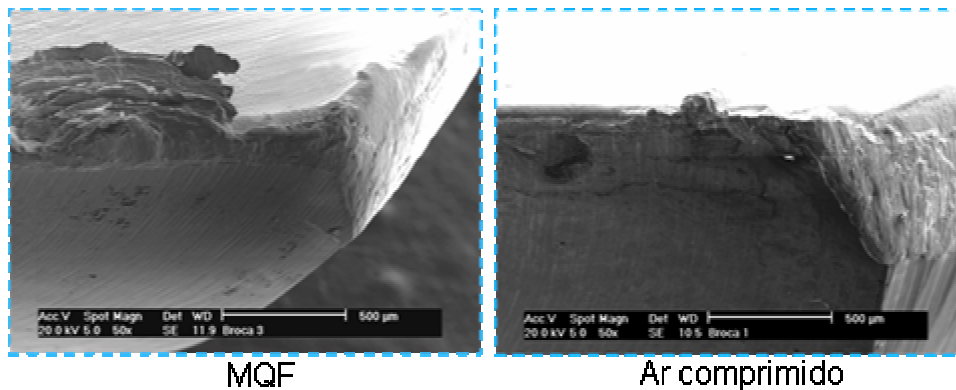
As brocas foram monitoradas através dos critérios de fim de ensaio pré-determinados:  $VB = 0,20$  mm;  $VB_{m\acute{a}x} = 0,60$  mm; ou pela ocorrência de ruído, ou ainda micro-lascamento no gume, sendo determinante o que se apresentar primeiro. Desta forma, as brocas foram medidas e observadas a cada dois furos. Para a análise da qualidade superficial foram medidos os principais parâmetros de rugosidade ( $R_a$ ,  $R_z$ , e  $R_{m\acute{a}x}$ ) 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, usando a média aritmética destes.



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

### 3 RESULTADOS

A Figura 3 ilustra o desgaste de flanco das brocas após serem utilizadas na usinagem sob diferentes condições de aplicação de fluido lubri-refrigerante.



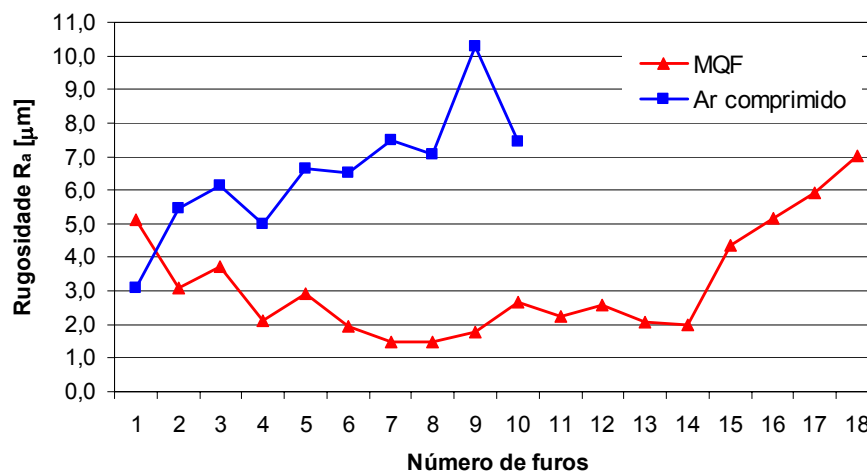
**Figura 3:** Fotografias com os desgastes de flanco das brocas utilizadas na usinagem com aplicação de MQF e com uso de ar comprimido.

Na broca utilizada para o processo de furação com aplicação externa de MQF, após a usinagem de 0,72 m (18 furos), pode ser constatada uma grande quantidade de aderência de material sobre o gume e sobre a guia da broca. Além disso, percebe-se um maior arredondamento da quina da broca devido à severidade do corte e condição de atrito na região.

No processo com aplicação de ar comprimido, no qual a ferramenta usinou 0,40 m (10 furos), é possível visualizar a aderência de material no flanco e na guia da ferramenta. Para esta condição observa-se o grande desgaste por arredondamento da quina, o que causou intenso ruído.

Os resultados obtidos para o comportamento de rugosidade neste experimento são mostrados em forma de gráfico. Os valores plotados no gráfico 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 4 mostra os gráficos de comportamento de rugosidade ao longo do número de furos para a condição com aplicação de MQF e para a condição de aplicação de ar comprimido.



**Figura 4:** Gráfico com o comportamento de rugosidade  $R_a$  da superfície de furos gerados com aplicação de MQF e aplicação de ar comprimido.

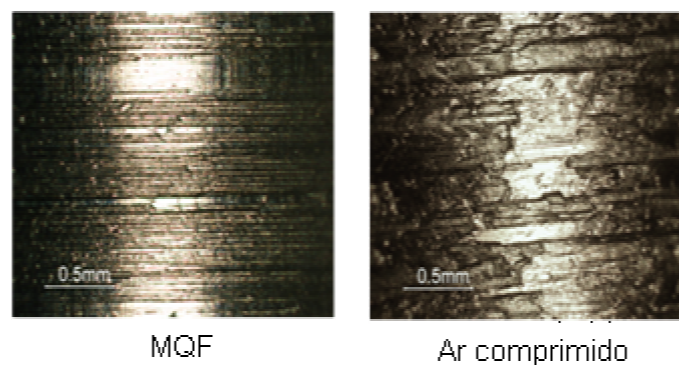
Com a aplicação de MQF, o maior valor de  $R_a$  foi de  $7,28 \mu\text{m}$ . Nota-se que houve uma grande variação de valores das rugosidades ao longo do número de furos. No primeiro furo o valor da rugosidade foi bastante elevado, isto pode estar relacionado com a condição de conservação do gume que, devido ao micro-filme de lubrificação, mantém o estado novo do gume por maior período de tempo. 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>(6,7)</sup>

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. 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.

Para uma melhor avaliação da real qualidade da superfície são necessárias outras informações. Uma das alternativas para se obter estas informações é observando-se a parede dos furos

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.

Sendo assim, são necessárias outras informações para uma melhor avaliação sobre a real qualidade da superfície do furo. Estas são adquiridas através da avaliação da parede dos furos e analisando as 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 piora 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.

#### **4 DISCUSSÃO**

Para a condição de aplicação de MQF, apenas uma quantidade mínima de lubrificante consegue atingir a interface ferramenta/parede do furo. 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 ao atrito seco e iniciam-se processos de aderência (5). Devido a este fato, verifica-se grande quantidade de material aderido sobre o gume e sobre a guia da broca utilizada nesta condição. Porém, a mínima quantidade de lubrificante que atinge a interface ferramenta/parede do furo proporcionou um menor atrito, o que garantiu um acréscimo de vida da ferramenta e uma melhor qualidade superficial.

Na usinagem com aplicação de ar comprimido tem-se a condição de corte mais severa na furação, pois não estão disponíveis os benefícios proporcionados pela aplicação de fluido lubri-refrigerante, como lubrificação e refrigeração. A falta de fluido de corte pode ocasionar um aumento no atrito e adesões entre ferramenta e material da peça e elevadas cargas térmicas podendo ocasionar grandes desgastes na ferramenta reduzindo significativamente sua vida e gerando uma pior qualidade superficial.<sup>(8)</sup> Assim, isto comprova a ação positiva dos lubrificantes, mesmo em micro-volumes, reduzindo o atrito entre a peça e a ferramenta.

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.

#### **5 CONCLUSÃO**

Pela avaliação dos resultados constatou-se que é possível a redução da utilização de fluidos lubri-refrigerantes no processo de furação do aço DIN 1.2711, com dureza entre 38 e 43 HR<sub>c</sub>. Para todas as ferramentas ensaiadas, o critério de fim de vida registrado foi o intenso ruído, ocasionado pelo grande atrito da quina arredondada pelo desgaste.

Os efeitos de lubrificação e refrigeração proporcionados pelo uso da mínima quantidade de fluido lubri-refrigerante contribuíram de forma efetiva para a obtenção de uma melhor qualidade superficial, mas com uma variação significativa da rugosidade e observa-se que no material endurecido, o fluido refrigerante age de forma positiva, melhorando a qualidade superficial da peça usinada. Para a condição com ar comprimido os furos apresentaram uma piora no acabamento, enquanto para a condição de MQF foram encontrados os menores valores de rugosidade a uma melhor qualidade superficial.

A redução do uso de fluidos lubri-refrigerantes nos processos de usinagem apresenta-se viável principalmente sob a condição de MQF (Mínima Quantidade de Fluido) na usinagem do aço AISI P20 hh. Esta redução significativa da quantidade de fluido sem perda de qualidade das peças usinadas e condição de fim de vida mostra-se satisfatória aos objetivos do proposto trabalho.

## 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), e a empresa Tapmatic do Brasil pelo fornecimento de seus produtos Quimatic.

## REFERÊNCIAS

- 1 TÖNSHOFF, H. K.; MOHLFELD, A. **PVD – Coatings for wear protection in dry cutting operations**. Surface and Coatings Technology, Vol. 93, Issue: 1, August, 1997. 88-92 p.
- 2 KÖNIG, W. et al. **Trockenzerspanen – Eine ökologische Herausforderung an die Fertigungstechnik – Aachener Perspektiven**. Hrsg.: Awk Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium. Dusseldorf: VDI-Vrelag, 1993. Seite 5/1 – 5/48.
- 3 ZEILMANN, R. P. **Usinagem com MQF pode gerar vantagens competitivas**. Revista IPESI Metal Mecânica, São Paulo, n. 428, p. 54-62, outubro/novembro 2006.
- 4 COSTA, E. S., MACHADO, A. R., ROSA, S. N., SOUZA JR. E. A. **Qualidade dos furos usinados com diferentes métodos de lubrificação e refrigeração**. Revista Máquinas e Metais, São Paulo, n. 484, p. 140-161, maio 2006.
- 5 ZEILMANN, R. P. (2003) – **Furação de liga de titânio com mínimas quantidades de fluido de corte**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis
- 6 KLOCKE, F., GERSCHWILER, K. **Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven**. VDI Berichte 1240, 1996. 1 – 43 p.
- 7 KÖNIG, W. & KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren. Drehen, Fräsen, Bohren**. Springer-Verlag. 7. Auflage. Berlin, 2002.
- 8 TEIXEIRA, C. R. **Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluidos de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2001.