



Redução da utilização de fluidos de corte: uma abordagem ecológica na gestão de processos de usinagem

Rodrigo P. Zeilmann, Tiago Vacaro, Alfredo Tomé, Fernando Bordin

Universidade de Caxias do Sul (rpzeilma@ucs.br)

Resumo

As indústrias de manufatura vêm sofrendo pressões de ordem econômica, ambiental e de saúde ocupacional para reduzir a utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem, mas essa redução exige uma adequação de todos os elementos constituintes do processo. A situação desejada é a usinagem sem utilização de fluidos de corte, ou seja, a usinagem a seco, mas em alguns casos essa condição ainda não é aplicável. Uma alternativa para esses casos é a técnica de mínimas quantidades de lubrificante (MQL), que combina funcionalidades de lubrificação com um consumo bastante reduzido de fluido. Este trabalho apresenta um estudo da redução da utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem, tendências tecnológicas e alguns resultados experimentais da aplicação dessas tendências em processos de usinagem.

Palavras-chave: Responsabilidade Ambiental. Usinagem Ecológica. Adequação do Processo.

Área Temática: Tecnologias Limpas.

Abstract

The manufacturing industries have been suffering pressures from economic, environmental and of occupational health aspects to reduce the use of cutting fluids in machining processes, but this reduction requires an adjustment of all constituent elements of the process. The desired situation is the machining without the use of cutting fluids, i.e., the dry machining, but in some cases this condition does not apply. An alternative for these cases is the technique of minimum quantity lubrication (MQL), which combines functionalities of lubrication with a low consumption of oil. This paper presents a study on reducing the use of cutting fluids in machining processes, technology trends and also some experimental results of applying these trends in machining processes.

Keywords: Environmental Responsibility. Green Machining. Adjustment of the Process.

Theme Area: Clean Technologies.



1 Introdução

As indústrias de manufatura enfrentam constantemente pressões para redução de custos ao mesmo tempo que precisam atender elevados padrões de qualidade. Para manterem-se competitivas, as empresas precisam continuamente identificar oportunidades de mercado e de redução de custos, através da promoção de melhorias em seus processos produtivos. Uma importante oportunidade de redução de custos é encontrada na redução da utilização dos fluidos de corte nos processos de usinagem.

Os fluidos de corte representam parcela significativa dos custos totais de usinagem, chegando a atingir 20% desse total, pois além da aquisição dos produtos, incorrem custos relativos ao manuseio dos mesmos e à destinação dos resíduos resultantes do processo, de forma a atender às cada vez mais exigentes legislações ambientais (KLOCKE e EISENBLÄTTER, 1997; SREEJITH e NGOI, 2000; TASDELEN *et al.*, 2008). Além disso, esses fluidos representam sérios riscos ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores. A destinação inadequada dos fluidos pode causar poluição do ar, da água e do solo. E o contato prolongado dos operadores de máquinas com fluidos de corte pode causar doenças respiratórias, da pele e do sistema digestivo (SOKOVIC e MIJANOVIC, 2001; SU *et al.*, 2006; THOMÉ *et al.*, 2007).

O consumo anual mundial de fluidos de corte para usinagem é estimado em 1,25 bilhões de litros (MARKSBERRY e JAWAHIR, 2008). Esse dado dimensiona o grande potencial de redução de custos e de problemas ambientais e de saúde que pode ser alcançado através de estratégias de redução da utilização de fluidos de corte.

No Brasil, não há uma legislação específica em relação aos fluidos de corte, mas duas leis referem-se aos lubrificantes em geral, a resolução CONAMA 362/05 e o Decreto 50.877/61, as quais classificam os lubrificantes como resíduos perigosos e dispõem instruções de destinação e reciclagem (ALVES e OLIVEIRA, 2006).

Confirmando a tendência para as preocupações ambientais provocada pela utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem, forte ênfase hoje é dada a tecnologias ambientalmente corretas que visem à preservação do meio ambiente e em conformidade com a norma ISO 14000. Por outro lado, apesar de persistentes tentativas para eliminar completamente a utilização de fluidos de corte, em muitos casos ainda é indispensável o arrefecimento para atingir vidas de ferramentas economicamente viáveis e qualidades superficiais requeridas como, por exemplo, na usinagem de materiais de difícil usinabilidade e na fabricação de componentes que exigem elevada precisão dimensional. Nestas condições, a técnica de mínimas quantidades de lubrificante (MQL) é uma alternativa interessante, pois combina as funcionalidades de refrigeração com um extremamente baixo consumo de lubrificante (SILVA *et al.*, 2007). A técnica de mínimas quantidades de lubrificante consiste na atomização de uma quantidade mínima de fluido, inferior a 100 ml/h, na região de corte, geralmente através de um jato de ar comprimido (TEIXEIRA FILHO, 2006). Essa vazão de fluido é muito inferior à utilizada em processos com emulsão, nos quais é comum a utilização de vazões superiores a 1000 l/h. Ainda assim, essas quantidades mínimas de fluido reduzem substancialmente o atrito na ferramenta e evitam a aderência de material, considerando que a área de contato cavaco/ferramenta é muito pequena (ZEILMANN e SLOMP, 2007).

A usinagem com MQL é recente e pode ser economicamente viável, porém apresenta questões que não possuem respostas concretas e precisas, tais como quais são os efeitos sobre a máquina-ferramenta, sobre a peça em trabalho e a ferramenta de corte, bem como todos os efeitos ambientais gerados como, por exemplo, a quantidade de óleo suspenso no ar, de óleo fixado na máquina-ferramenta, entre outros. Esta escassez de informações é originada pela falta de equipamentos mais modernos de atomização de fluidos para estas aplicações, máquinas-ferramentas adequadas e a adaptação do processo de fabricação à nova realidade (ZEILMANN, 2003). Além da técnica MQL, alternativas têm sido estudadas para substituir a



refrigeração através dos fluidos de corte tradicionais, como a usinagem a seco e o uso de fluidos ecologicamente corretos, como ar, fluidos poliméricos, fluidos biodegradáveis, etc. (ALVES e OLIVEIRA, 2006).

Apesar das grandes mudanças necessárias para se trabalhar sem fluido de corte, a usinagem a seco é a tendência real na manufatura global (DEVILLEZ *et al.*, 2007; OLIVEIRA, 2003). Uma análise criteriosa dos mecanismos dos processos de corte é um elemento chave no desenvolvimento de um processo de usinagem a seco econômico e seguro. Além da adoção dessa tecnologia de usinagem, a construção de máquinas-ferramenta e seus equipamentos periféricos deve levar em consideração os aspectos inerentes à nova tecnologia, pois a implantação da usinagem a seco não consiste em simplesmente interromper a alimentação de fluido. De fato, os fluidos exercem importantes funções no processo, e sua ausência deve ser compensada pela adequação dos demais elementos do processo.

A usinagem a seco é em geral aplicável aos processos caracterizados pela geometria de corte definida, como mostra a Figura 1. As aplicações clássicas da usinagem a seco são o serramento e o fresamento. O corte interrompido característico destes processos permite a formação de cavacos curtos e de fácil remoção e a refrigeração das arestas de corte. Devido à geralmente boa acessibilidade da região de corte, as operações de torneamento também apresentam elevado potencial para aplicação da usinagem a seco. As operações de alargamento e furação, caracterizadas por uma zona de corte protegida, apresentam maior severidade para aplicação dessa tecnologia, devido à elevada geração de calor e à dificuldade de remoção do cavaco do furo, exigindo uma adequação de parâmetros e estratégias de usinagem. Já os processos caracterizados pela geometria de corte indefinida, devido à difícil acessibilidade da região de corte e às elevadas demandas de qualidade superficial, tornam bastante difícil a aplicação da usinagem a seco (WEINERT *et al.*, 2004).

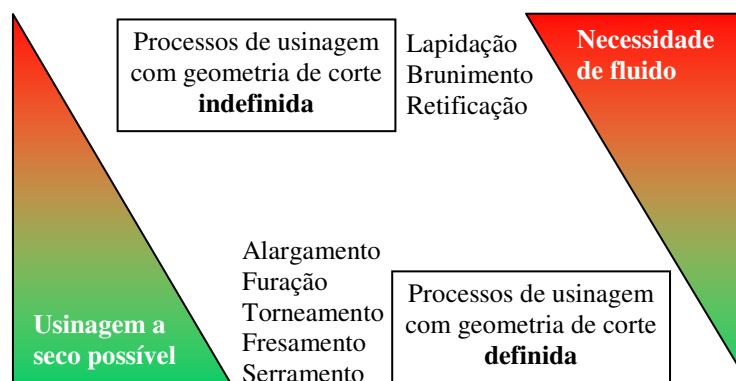


Figura 1 – Aplicabilidade da usinagem a seco (WEINERT *et al.*, 2004)

Desde que a usinagem a seco começou a ser estudada, houve alguns progressos e, atualmente, boa parte dos materiais já pode ser usinada nessa condição. No entanto, pesquisa realizada na Alemanha em 2006 constatou que a participação média da usinagem a seco nas indústrias era de apenas 12%. A pesquisa também apontou como principal obstáculo para a implantação da tecnologia a insuficiência de conhecimentos por parte das empresas, especialmente no que se refere aos efeitos da dilatação térmica da máquina e da peça (KALHÖFER e KRANZEN, 2008).

Um dos aspectos mais importantes no estudo da usinagem a seco é o fato de que as elevadas temperaturas de usinagem podem influir sobre a forma e a precisão das medidas da peça. Especialmente quando da usinagem com ferramentas de metal duro, a dilatação térmica da peça é maior que a dilatação sofrida pela ferramenta e, à medida que a usinagem se estende e a peça vai gradativamente aquecendo, há uma tendência de se retirar mais material do que o



necessário. E, ao resfriar, a peça se contrai, podendo resultar em dimensões fora da especificação (OLIVEIRA *et al.*, 2008). As elevadas temperaturas também podem resultar na formação de cavacos em formas indesejadas, o que dificulta a remoção dos mesmos, e os cavacos quentes podem levar a um aumento da temperatura na câmara de armazenagem de cavacos da máquina-ferramenta, ocasionando uma alteração na sua estabilidade e consequente influência sobre a precisão das medidas da peça (TEIXEIRA, 2001).

As informações até este ponto apresentadas demonstram a necessidade de aprofundar o conhecimento acerca da redução da utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem e divulgar esses estudos para as empresas de manufatura, de modo que estas possam se beneficiar das vantagens dessa tecnologia, estendendo, assim, os benefícios à sociedade e ao meio ambiente.

2 Resultados experimentais

Muitos pesquisadores ao redor do mundo vêm estudando as possibilidades de redução da utilização de fluidos de corte na usinagem (DHAR *et al.*, 2007; KLOCKE e EISENBLÄTTER, 1997; KLOCKE e GERSCHWILER, 1996; SREEJITH e NGOI, 2000; WEINERT, 1999; WEINERT *et al.*, 2004; ZEILMANN, 2003).

Seguindo essa tendência, o Grupo de Usinagem (GUS), grupo de pesquisa vinculado à Universidade de Caxias do Sul, mantém uma linha de pesquisa dedicada a esta temática. O grupo já realizou diversos ensaios experimentais, nos quais foram encontrados resultados positivos da redução ou eliminação da utilização de fluidos de corte. A seguir são apresentados alguns desses resultados.

Ensaio de fresamento com ferramentas de aço-rápido (HSS) de 6 mm de diâmetro e revestimento de nitreto de titânio (TiN), aplicadas na usinagem de aço endurecido, apresentaram tempos de vida 170% superiores na condição a seco em relação à utilização de emulsão, conforme pode ser observado na Figura 2.

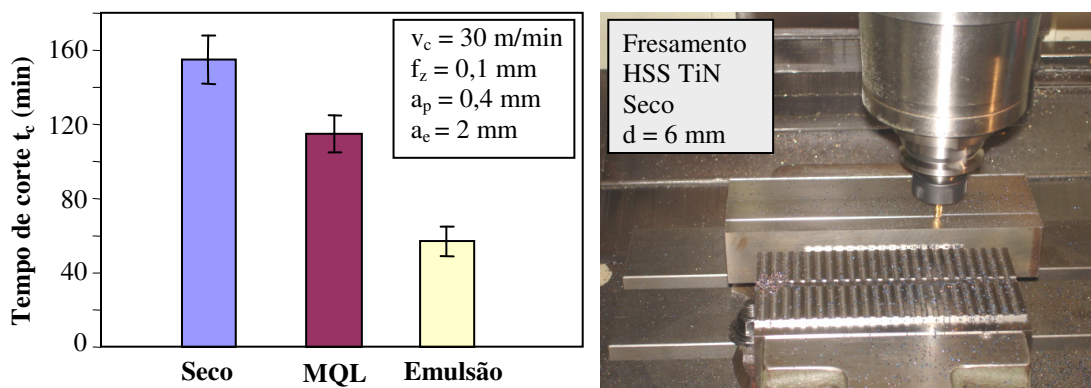


Figura 2 – Resultados de ensaio de fresamento

O fresamento é um processo de usinagem caracterizado pelo corte interrompido, o que implica em uma variação cíclica das cargas térmicas e mecânicas sobre a aresta de corte. A utilização de fluidos lubri-refrigerantes acentua o gradiente de temperatura na aresta de corte, favorecendo a ocorrência de trincas térmicas, as quais aceleram o desgaste da ferramenta. Com a utilização de MQL, também ocorre um aumento do gradiente de temperatura, porém em menor grau em relação à emulsão.

Também foram realizados testes de furação de aço endurecido com brocas de metal-duro (HM) de 8,5 mm de diâmetro, revestidas com nitreto de titânio alumínio (TiAlN). Nas condições a seco e com aplicação de MQL foi adotada uma estratégia de usinagem diferente da aplicada à condição de emulsão, o que aumentou o tempo de processo, mas aumentou



também a vida da ferramenta, como mostra a Figura 3. Cabe neste tipo de situação uma análise de custo-benefício, que foge ao escopo deste trabalho.

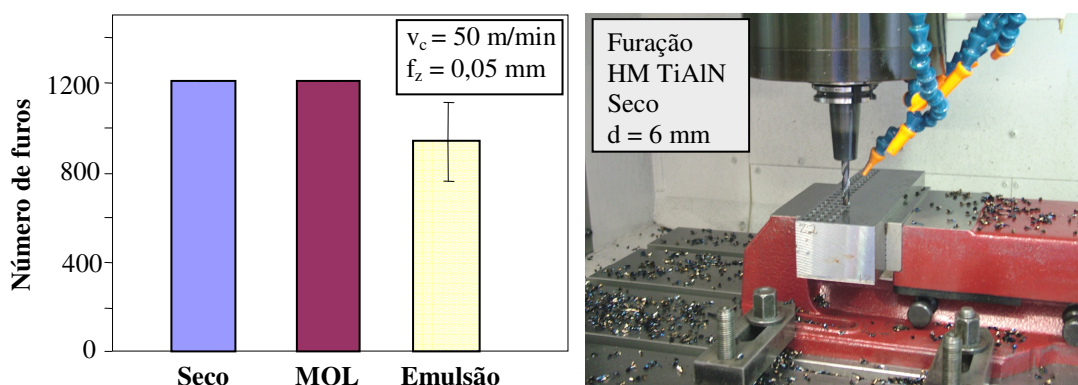


Figura 3 – Resultados de ensaio de furação com brocas de metal-duro

Os bons resultados encontrados nas condições a seco e de MQL são resultantes do fato de que, embora ocorra a carência de refrigeração na zona de corte, o calor gerado também tem um efeito positivo, pois a elevação da temperatura do metal a ser usinado diminui a resistência ao cisalhamento do mesmo, reduzindo os esforços mecânicos necessários ao corte.

A furação de aço endurecido com brocas de aço-rápido é uma condição bastante severa, por isso, em geral, a usinagem a seco não é aplicável para essa condição. Testes foram realizados com brocas de aço-rápido de 8 mm de diâmetro e sem revestimento, e os resultados encontrados apontaram tempos de vida maiores para a condição com MQL, como mostra a Figura 4.

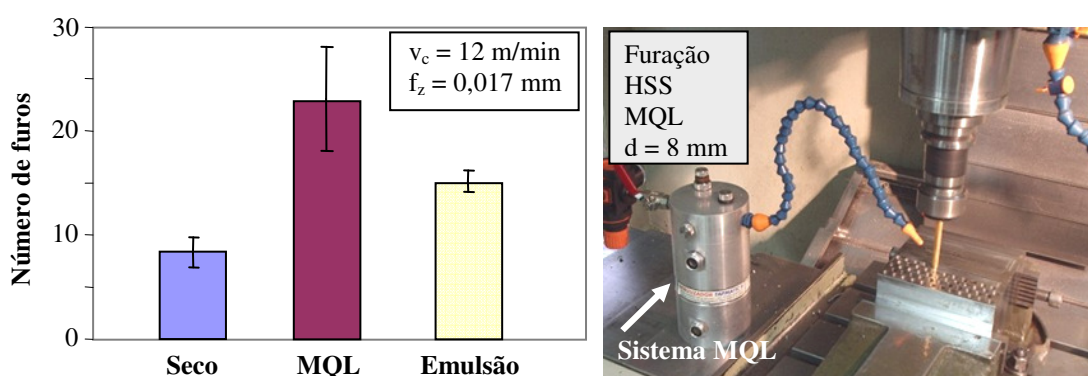


Figura 4 – Resultados de ensaio de furação com brocas de aço-rápido

No caso das brocas de aço-rápido, o efeito térmico tem elevada influência sobre o desgaste deste tipo de ferramenta, o que explica os resultados inferiores alcançados na condição a seco. A diferença em relação ao fresamento com ferramentas de aço-rápido se deve ao fato de que na furação o corte é contínuo, e com isto o calor gerado é maior e as solicitações de contato são constantes, provocando elevado desgaste abrasivo. Na condição de MQL, a mínima lubrificação foi suficiente para reduzir o atrito, diminuindo dessa forma a carga térmica sobre a ferramenta, ao mesmo tempo em que é aproveitado o anteriormente citado efeito positivo do calor na região de corte. Efeito este que não ocorre na condição de emulsão, pois a utilização do fluido em abundância impede uma elevação significativa da temperatura da peça, mantendo a elevada resistência ao cisalhamento do material.



3 Discussão e conclusões

Na literatura técnica especializada são encontrados inúmeros trabalhos (CHE HARON *et al.*, 2007; BYRNE *et al.*, 2003; KLOCKE e EISENBLÄTTER, 1997; WEINERT *et al.*, 2004, entre outros) apresentando resultados semelhantes aos apresentados acima, ou seja, resultados da aplicação vantajosa da redução da utilização de fluidos de corte em operações de fabricação por usinagem. E a tendência aponta para um crescimento de operações realizadas com quantidades reduzidas ou sem a utilização de fluidos, à medida que as pesquisas em usinagem avançam e são aplicadas aos processos de manufatura.

Essa tendência vai de encontro à necessidade das empresas adotarem uma postura ecológica na gestão dos processos de usinagem, reduzindo os impactos ambientais e à saúde dos trabalhadores provocados pelo uso dos fluidos de corte. A Figura 5 ilustra o comportamento exponencial das quantidades de fluido empregadas pelas diferentes tecnologias de aplicação de fluidos de corte, e também apresenta a relação entre a quantidade de fluido e os aspectos financeiro, ambiental e de saúde ocupacional.

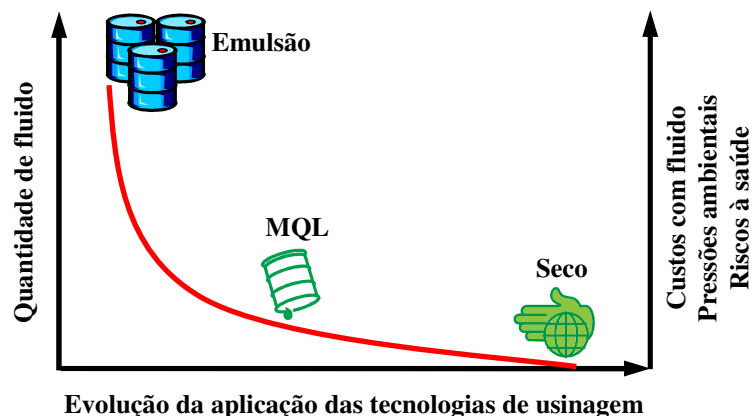


Figura 5 – Condições de aplicação de fluido

A redução da quantidade de fluido empregada nos processos de usinagem propicia redução de custos, não somente de aquisição, mas também de armazenamento, movimentação e destinação de resíduos. Também é facilitado o atendimento às legislações ambientais e os danos à saúde dos trabalhadores são reduzidos de forma significativa, além de se constituir em um fator de motivação aos operadores, que passam a trabalhar em um ambiente mais limpo e menos salubre.

No caso do emprego da técnica MQL, para que os ganhos ambientais e de proteção dos trabalhadores sejam alcançados, especial atenção deve ser voltada ao controle e à coleta das gotículas de óleo atomizadas. As máquinas devem possuir uma adequada vedação e é essencial a utilização de um sistema de exaustão, de modo a coletar o óleo atomizado suspenso no ar e no interior da máquina, evitando a contaminação do ambiente fabril.

Deve ser ressaltado, também, que embora existam estudos da aplicabilidade da redução da utilização de fluidos em diferentes processos de usinagem, cada operação de fabricação por usinagem deve ser analisada isoladamente, pois a relação entre as variáveis influentes no processo é complexa, exigindo uma adequação harmônica das mesmas, de forma a compensar a ausência das funções primárias do fluido de corte. Além disso, pequenas alterações nas variáveis do processo podem resultar em elevadas diferenças de produtividade e qualidade.

Embora os fluidos de corte ainda tenham participação muito relevante nas operações de usinagem, os aspectos negativos exigem a necessidade de mudanças rápidas e com qualidade. E com o crescente desenvolvimento de novos materiais para ferramentas,



acompanhado pela melhora técnica gradativa das máquinas-ferramenta e de métodos de refrigeração alternativos, em especial a técnica de MQL, o gerenciamento dos processos de usinagem com responsabilidade ambiental é possibilitado e deve ser encarado como essencial pelos gestores de processos de usinagem.

Mas além das alterações tecnológicas do processo, são necessários estudos para buscar parâmetros de usinagem mais apropriados às técnicas de uso reduzido de fluido, pois grande parte dos parâmetros de corte recomendados pelas empresas fabricantes de ferramentas são indicados para a usinagem com fluido lubri-refrigerante em abundância.

As empresas devem ter em mente também que, além da preservação do meio ambiente, da diminuição dos riscos à saúde dos trabalhadores e da redução de custos, a manufatura com responsabilidade ambiental pode ser também um ponto de influência positiva à imagem da empresa no mercado, uma vez que as questões ambientais ocupam cada vez mais espaço na mídia e já começam a pesar na escolha dos consumidores.

Referências

ALVES, M.S.; OLIVEIRA, J.F.G. “*Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact*”. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 179, 2006, pg.185-189.

BYRNE, G.; DORNFELD, D.; DENKINA, B. “*Advancing cutting technology*”. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 52, 2003, pg.1-25.

CHE HARON, C.H.; GINTING, A.; ARSHAD, H. “*Performance of alloyed uncoated and CVD-coated carbide tools in dry milling of titanium alloy Ti-6242S*”. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 185, 2007, pg. 77-82.

DEVILLEZ, A.; SCHNEIDER, F.; DOMINIAK, S.; DUDZINSKI, D.; LARROUQUERE, D. “*Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools*”. **Wear**, n. 262, 2007, pg. 931-942.

DHAR, N.R.; AHMED, M.T.; ISLAM, S. “*An experimental investigation on effect of minimum quantity lubrication in machining AISI 1040 steel*”. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n. 47, 2007, pg. 748-753.

KALHÖFER, E.; KRANZEN, J. “*Usinagem a seco: passada a euforia, é hora de avaliar prós e contras*”. **Revista Máquinas e Metais**, n. 510, 2008, pg. 48-55.

KLOCKE, F.; EISENBLÄTTER, G. “*Dry Cutting*”. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 2, 1997, pg. 519-526.

KLOCKE, F.; GERSCHWILER, K. “*Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven*”. **VDI Berichte**, n. 1240, 1996, pg. 1-43.

MARKSBERRY, P.W.; JAWAHIR, I.S. “*A comprehensive tool-wear/tool-life performance model in the evaluation of NDM (near dry machining) for sustainable manufacturing*”. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n. 48, 2008, pg. 878-886.



OLIVEIRA, A.J. **Otimização das condições de usinagem visando o torneamento a seco do aço ABNT 1045 em operação de desbaste**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, 2003.

OLIVEIRA, J.E.F.; MESQUITA, N.G.M.; YADAVA, Y.P. “*Tolerâncias dimensionais de peças usinadas com pastilhas cerâmicas*”. **Revista Máquinas e Metais**, n. 504, 2008, pg. 106-125.

SILVA, L.R. da; BIANCHI, E.C.; FUSSE, R.Y.; CATAI, R.E.; FRANÇA, T.V.; AGUIAR, P.R. “*Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant – MQL in grinding*”. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, n. 47, 2007, pg. 412-418.

SOKOVIC, M.; MIJANOVIC, K. “*Ecological aspects of the cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes*”. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 109, 2001, pg. 181-189.

SREEJITH, P.S.; NGOI, B.K.A. “*Dry machining: machining of the future*”. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 101, 2000, pg. 287-291.

SU, Y.; HE, N.; LI, L.; LI, X.L. “*An experimental investigation of effects of cooling/lubrication conditions on tool wear in high-speed end milling of Ti-6Al-4V*”. **Wear**, n. 261, 2006, pg. 760-76.

TASDELEN, B.; WIKBLUM, T.; EKERED, S. “*Studies on minimum quantity lubrication (MQL) and air cooling at drilling*”. **Journal of Materials Processing Technology**, n. 200, 2008, pg. 339-346.

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.

TEIXEIRA FILHO, F. **A utilização de fluido de corte no fresamento do aço inoxidável 15-5PH**. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, 2006.

THOMÉ, R.; BIANCHI, E.C.; ARRUDA, O.S.; AGUIAR, P.R. “*Doenças causadas por microbactérias: uma revisão de trabalhos*”. **Revista Máquinas e Metais**, n. 492, 2007, pg. 96-109.

WEINERT, K. **Trockenbearbeitung und Minimalmengen Kühlschmierung**. Berlin: Springer-Verlag, 1999.

WEINERT, K.; INASAKI, I.; SUTHERLAND, J.W.; WAKABAYASHI, T. “*Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication*”. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 53, 2004, pg. 511-537.

ZEILMANN, R.P. **Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte**. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2003.