

FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO ABNT 1045 COM APLICAÇÃO MQF DO ÓLEO REFINADO VEGETAL DE BABAÇÚ

Data de aceite: 01/03/2023

Antônio Santos Araújo Júnior

Mauro Araújo Medeiros

Jean Robert Pereira Rodrigues

Waldemir dos Passos Martins

Valter Alves de Meneses

Álisson Rocha Machado

Tiago do Espírito Santo Baldez Neves
(*In memoriam*)

RESUMO: A usinabilidade de um material metálico é influenciada principalmente pela sua composição química, microestrutura e resistência mecânica. São vários aspectos fundamentais, que caracterizam a usinabilidade de um determinado material, entre eles a vida da ferramenta, o acabamento superficial e a potência requerida para o corte. Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da aplicação do óleo refinado vegetal de coco babaçú (*Orbignya Oleifera*), utilizado como fluido de corte na forma de mínima quantidade de fluido (MQF) nos esforços de usinagem (força de corte, força de avanço e força

passiva) durante o processo de fresamento frontal do aço ABNT 1045, um aço com médio teor de carbono e com grande aplicação no fabrico de forjados, partes estruturais de máquinas e eixos em geral, o trabalho visa contribuir principalmente com a divulgação e utilização de fluidos de corte ecologicamente corretos que possam vir a ser utilizados nos processos de usinagem. A metodologia consistiu na aplicação do fluido de corte de base vegetal (óleo de babaçú), comparando o desempenho do mesmo com a aplicação do óleo comercial LB 2000 (fluido de corte também de base vegetal, indicado para usinagem de metais ferrosos produzido pela ITW Chemical Products Ltda.), ambos aplicados na forma MQF, com variação na vazão dos fluidos em 10, 50, 100 e 200 ml/h e também com a condição a seco. Foi realizado um Planejamento de Experimentos - DOE fatorial 2^5 onde as variáveis de entrada foram a velocidade de corte (V_c), o avanço (f_z) e a profundidade de corte (a_p), o fluido de corte e a vazão MQF (esta repetida em 4 diferentes vazões) enquanto as variáveis de saída medidas foram as forças de corte (F_x), força de avanço (F_y) e a força passiva (F_z). Verificou-se que os parâmetros mais influentes nas componentes de forças são o avanço e a

profundidade de corte. O óleo de coco babaçú apresentou valores de forças em linha com o óleo LB 2000 e menores que a condição a seco. As vazões consideradas mais eficientes para menores valores das forças de usinagem foram as de 50 ml/h e 200 ml/h nas diversas condições avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: Forças de usinagem, Fluido de corte, Usinabilidade, Parâmetros de corte.

FACE MILLING OF STEEL ABNT 1045 WITH IMPLEMENTATION OF THE MQF REFINED VEGETABLE OIL BABAÇÚ

ABSTRACT: The machinability of a metal is mainly influenced by its chemical composition, microstructure and mechanical strength. There are several key issues, which characterize the machinability of a material, including tool life, surface finish and power requirement for cutting. This study aims to assess the effect of refined vegetable oil babaçú coconut (*Orbignya oleifera*), used as a cutting fluid as a minimum amount of fluid (MQF) in forces machining (cutting force, thrust and passive force) during the face milling of ABNT 1045 steel with an average carbon and wide application in the manufacture of forged parts of machines and structural axes in general, work aimed mainly contribute to the distribution and use of environmentally friendly cutting fluids that may be used in machining processes. The methodology consisted in the application of cutting fluid vegetable-based oil (babaçú), comparing its performance with the application of commercial oil LB 2000 (cutting fluid also plant-based, suitable for machining ferrous metals produced by ITW Chemical Products Limited.), both applied as MQF with variation in the flow of fluid 10, 50, 100 and 200 ml / h and also the dry condition. We conducted a Design of Experiments - factor 2^5 where the input variables were cutting speed (v_c), advancement (f_z) and the depth of cut (a_p), the cutting fluid flow and MQF (this repeated in four different flow) while the output variables were measures cutting forces (F_x), feed force (F_y) and passive force (F_z). It was found that the parameters most influential forces are the components of the feed and cutting depth. Babaçú nut oil showed values of forces in line with the oil LB 2000 and smaller than the dry condition. The flow considered more efficient for lower values of machining forces were 50 ml / h and 200 ml / h in the various conditions evaluated. **KEYWORDS:** Machining forces, cutting fluid, machinability, cutting parameters.

1 | INTRODUÇÃO

Os esforços de usinagem são importantes na avaliação do efeito dos parâmetros de usinagem. A força de usinagem é dada pela resultante dos esforços que atuam sobre a cunha cortante. O conhecimento ou mesmo a estimativa dos esforços de usinagem máximos também é utilizado para o dimensionamento do equipamento de usinagem (Shaw, 1984), no projeto de ferramentas e dispositivos de usinagem. Vários trabalhos (Hamid, 1995), (Strafford, 1997), têm sido realizados no sentido de usar a força de corte como forma de avaliar o processo de usinagem. Esses trabalhos têm diferentes abordagens, onde as forças de corte são correlacionadas com parâmetros que vão desde rugosidade, desgaste de ferramenta até microestrutura e propriedades mecânicas, (Astakhov, 1999), (Diniz et

al., 2000). De maneira geral, a direção e o sentido da força de usinagem (F) são difíceis de determinar. Por isso ela é decomposta em componentes. As componentes de F são identificadas por índices: “c” para a direção principal de corte. “f” para a direção de avanço e “p” para a direção passiva (perpendicular ao plano de trabalho). A força de corte “ F_c ” tem o mesmo sentido e direção da velocidade de corte “ v_c ”. Ela é responsável pela maior parte da potência de corte. A força de avanço “ F_f ” tem o mesmo sentido e direção da velocidade de avanço “ v_f ”, causando a deflexão da ferramenta. A força passiva “ F_p ” é a componente de F perpendicular ao plano de trabalho P_f . A Figura 1, mostra a direção das componentes das forças de usinagem.

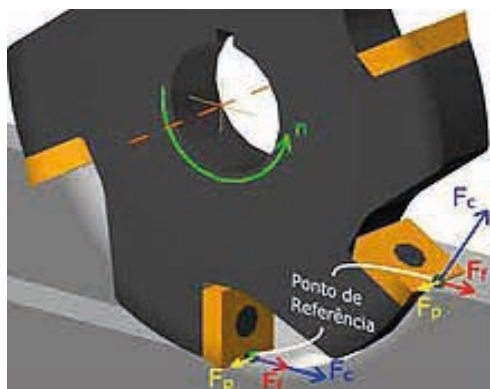


Figura 1. Decomposição da força F em suas componentes F_c , F_f e F_p (CIMM, 2009)

Os fluidos de corte possuem várias funções nos processos de usinagem, tais como: Ajudam a refrigerar a região de corte, principalmente em altas velocidades de corte; lubrificar a região de corte, principalmente em baixas velocidades e altas tensões de corte; reduzir a força de corte; melhorar a vida da ferramenta, o acabamento superficial, a precisão dimensional da peça; auxiliam na quebra do cavaco, facilitam o transporte de cavaco; protegem a superfície usinada e a máquina-ferramenta contra oxidação (Machado et al., 2009).

O descarte de fluidos de corte é um processo indesejável, inicialmente por se tratar de substância poluidora para o meio ambiente que necessita de complexo e oneroso tratamento prévio. Para a destinação desses produtos a legislação ambiental estabelece critérios de acordo com as características do rejeito líquido, os quais levam em conta parâmetros como resíduos sedimentáveis, ph, oxigênio dissolvido, demandas química e bioquímica de oxigênio, temperatura, óleos e graxas e a presença de microrganismos (Sokovic & Mijanovic, 2001).

Muitos aspectos dos problemas ambientais associados aos fluidos de corte podem ser evitados ou minimizados por meio de investimentos em pesquisas para desenvolvimento

de novos tipos de fluidos e de métodos aplicação menos agressivos, assim como, em treinamentos voltados para a formação de uma nova cultura na indústria metal-mecânica, que possibilite o perfeito entendimento dos impactos ambientais causados pelo uso indisciplinado dos fluidos de corte e a conseqüente conscientização dos empresários e trabalhadores em relação à tomada de atitudes voltadas às boas práticas ambientais.

A introdução da série de legislações ambientais, OSHA e outras autoridades de regulamentação internacional, fizeram a indústria transformadora reduzir o consumo de óleo mineral como fluido de corte para trabalhos de usinagem, havendo um grande potencial para a utilização de óleos vegetais como fluidos de corte no setor industrial (Singh et al. 2006). Diversos trabalhos estão em andamento para desenvolver fluidos de corte ambientalmente corretos com base em vários óleos vegetais, a maioria dos trabalhos relatados, evidenciam os óleos de soja, óleos de girassol e óleos de canola. Atualmente, muitos grupos (Jacob, 2004) e (Peter, 2005) estão envolvidos no desenvolvimento de óleos vegetais como fluidos de corte. A utilização da técnica das quantidades mínimas de fluido de corte (MQF-Minimal Quantity of Lubricant) tem-se revelado uma alternativa muito vantajosa, relativamente à aplicação abundante de fluido na usinagem, principalmente no processo de fresamento. Esta técnica consiste na utilização de uma pequena quantidade de óleo lubrificante que é pulverizado na região de corte. Desta forma, o consumo de óleo de corte é significativamente menor. Na técnica MQF os fluidos utilizados são, geralmente, de base vegetal, com aditivos incorporados, podendo também ser de base mineral, a Figura 2 mostra um processo de fresamento com a pulverização do fluido sobre a região de corte.



Figura 2. Processo de fresamento com utilização da técnica MQF

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do óleo comestível vegetal a base de coco babaçú (*Orbignya oleifera*) (Figuras 3 e 4), utilizado como fluido de corte e aplicado pela técnica da mínima quantidade de fluido (MQF) nos esforços de corte do aço ABNT 1045, durante o processo de usinagem por fresamento frontal. Este trabalho visa contribuir principalmente com a divulgação e utilização de fluidos de corte ecologicamente corretos que possam vir a ser utilizados nos processos de usinagem. O óleo de coco babaçu

é muito utilizado para fins alimentícios e na fabricação de margarinas. Este óleo apresenta propriedades semelhantes ao óleo de dendê (ou palma), apresentando alto teor de ácido láurico, tem várias aplicações, dentre as quais podemos destacar: indústria cosmética, alimentícia, sabões, sabão de coco, detergentes, lubrificantes, entre outras.



Figura 3. Amêndoa do coco babaçú



Figura 4. Palmeira do coco babaçú

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para o desenvolvimento deste trabalho consistiu na aplicação do fluido de corte de base vegetal (óleo de coco babaçú), comparando o desempenho do mesmo com a aplicação do óleo comercial LB 2000 (fluido de corte também de base vegetal, indicado para usinagem de metais ferrosos produzido pela ITW Chemical Products Ltda.), ambos aplicados na forma MQF, com variação na vazão dos fluidos em 10, 50, 100 e 200 ml/h e também com a condição a seco. Foi realizado um Planejamento de Experimentos – Fatorial 2⁵ onde as variáveis de entrada foram a velocidade de corte (V_c), o avanço (f_z) e a profundidade de corte (a_p), o fluido de corte e a vazão MQF (esta repetida em 4 diferentes vazões) enquanto as variáveis de saída medidas foram as forças de corte (F_x), força de avanço (F_y) e a força passiva (F_z). A Tabela 1 evidencia este planejamento.

Variáveis de Entrada ou Fatores de Entrada				Variáveis de Saída ou Respostas do Processo			
Material da peça: Aço ABNT 1045; Ferramenta de corte: Fresa frontal (Coromil 345 da Sandvik Coromant) com incertos de metal duro revestidos (PM 4240); Máquina Ferramenta: Discovery 560 (Romi); Penetração de trabalho (a_p): 62 mm.							
experimentos	Condições de corte			Vazão MQF (ml/h)	Forças de usinagem (N)		
	v_c (m/min)	f_z (mm/dente)	a_p (mm)		F_x	F_y	F_z
01 a 04	165	0,15	1	10			
				50			
				100			
				200			
05 a 08	210	0,15	1	10			
				50			
				100			
				200			
09 a 12	165	0,30	1	10			
				50			
				100			
				200			
13 a 16	210	0,30	1	10			
				50			
				100			
				200			
17 a 20	165	0,15	2	10			
				50			
				100			
				200			
21 a 24	210	0,15	2	10			
				50			
				100			
				200			
25 a 28	165	0,30	2	10			
				50			
				100			
				200			

29 a 32	210	0,30	2	10			
				50			
				100			
				200			

Tabela 1. Matriz de planejamento para os testes de forças de usinagem

2.1 Sistema de medição das forças de usinagem

Para evitar erros sistemáticos padronizou-se a confecção e fixação das peças, onde todas foram usinadas previamente em formato de prisma retangular com dimensões finais de 180 mm de comprimento, 77 mm de altura e 62 mm de largura. Foram confeccionados dois furos passantes com diâmetros de 15,25 mm (5/8") cada um a fim de fixar a peça no dinamômetro estacionário.

Para aquisição das forças de usinagem foi utilizado um dinamômetro do fabricante Kistler, modelo 9257-B, fixado no barramento do centro de usinagem. Os sinais adquiridos são enviados para um amplificador de carga e deste a uma placa de conversão analógica - digital da Measurement Computing, modelo USB 1208SF, 1.25 MS/s. Este sinal é gerenciado por um computador utilizando o software Delphi 7.0. A metodologia de captação do sinal de força é ilustrada na Figura 5.

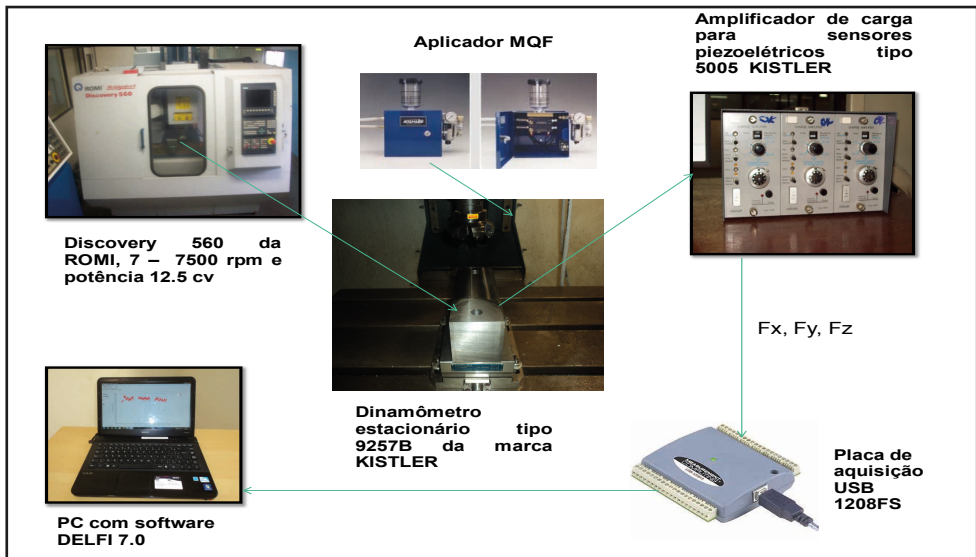


Figura 5. Sistema de aquisição das forças de usinagem

3 | CARACTERIZAÇÃO DO FERRAMENTAL

O ferramental utilizado no processo de fresamento frontal foi constituído de:

- 1 - Fresa 345 - 080Q27 - 13M (Sandvik - Coromant) - Diâmetro de 80 mm e capacidade para 6 insertos (na pesquisa, para economia de material e ferramentas, só foi utilizado 1 inserto).
- 2 - Insertos 345 - 1305M - PM 4220 (Sandvik - Coromant)
- 3 - Cone 52.33.527 (Sandvik - Coromant)

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante os experimentos mostram que dependendo das condições de usinagem adotadas durante o processo de fabricação por fresamento frontal, há uma diferença significativa nos mesmos, ou seja, variando-se a velocidade de corte (v_c), o avanço (f_z), a profundidade de corte (a_p), os fluidos de corte aplicados (Babaçú e LB 2000) nas formas de mínima quantidade de fluido (MQF), nas vazões de 10, 50, 100 e 200 ml/h e na condição a seco, observou-se através dos parâmetros de usinabilidade (forças de usinagem), uma influência moderada dos fluidos vegetais aplicados, essa influência pode ser verificada através da ligeira redução dos esforços de corte quando comparamos o fresamento com aplicação do fluido com o fresamento a seco, nota-se também um equilíbrio entre os dois fluidos de corte aplicados com valores de forças muito próximo, praticamente em linha. Esses resultados são apresentados nos gráficos de 1 a 3. As condições de corte são as mesmas apresentadas na tabela 1.

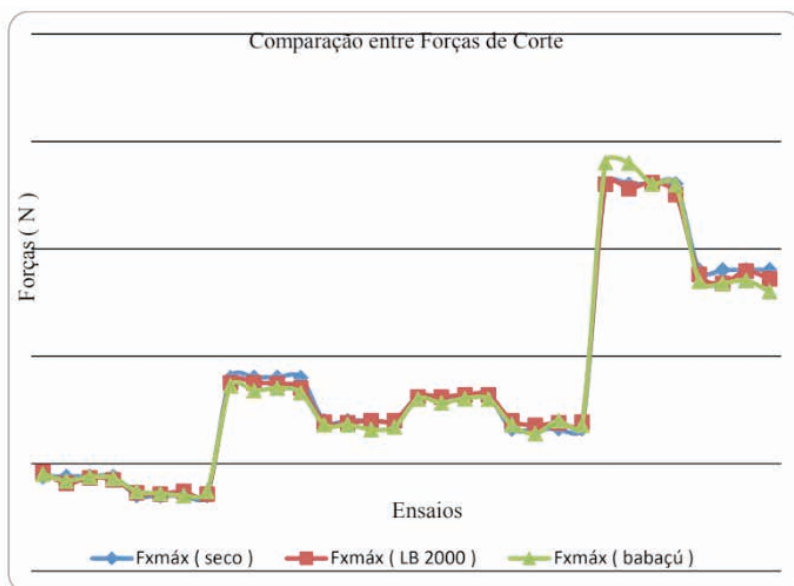


Gráfico 1. Comparação das forças de corte ($F_{xmáx}$) nas diversas condições

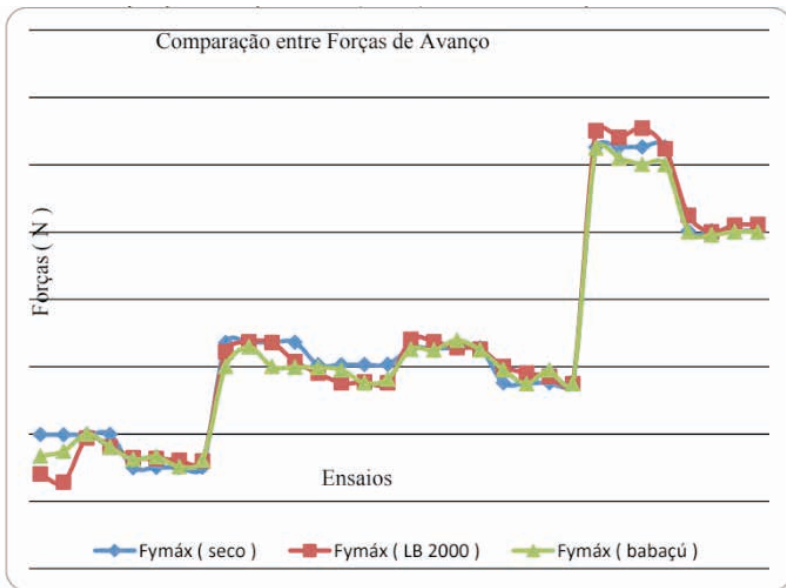


Gráfico 2. Comparação das forças de avanço ($F_{ymáx}$) nas diversas condições

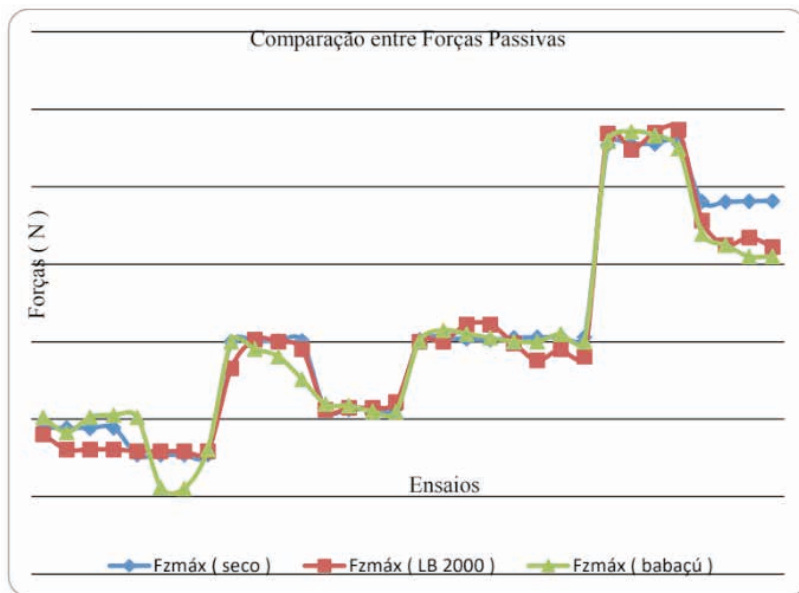


Gráfico 3. Comparação das forças passivas ($F_{zmáx}$) nas diversas condições

Fazendo um comparativo entre os três resultados apresentados, ou seja, verificando a influência sobre as forças de usinagem com aplicação dos fluidos de corte e também na condição a seco, verifica-se que a participação dos fluidos de corte durante os ensaios possibilitou uma pequena redução nas mesmas. Nos testes de 09 a 12 e de 29 a 32, com a variação da velocidade de corte (v_c) e da profundidade de corte (a_p) para um mesmo

avanço (f_z), houve uma redução nas forças de corte (F_x), nos testes de 01 a 04 e de 13 a 16, com variação do avanço (f_z), para uma mesma velocidade de corte (v_c) e profundidade de corte (a_p), houve uma redução nas forças de avanço (F_y) e também uma redução na força passiva (F_z) nos testes de 29 a 32, para as condições mais críticas de v_c , f_z e a_p .

Nos resultados citados acima se observa o efeito dos fluidos de corte (aplicados pela técnica MQF), sobre as forças de usinagem, ou seja, sua função lubrificante atua minimizando o efeito da flutuação da temperatura na ferramenta durante o corte.

A análise de variância (ANOVA) dos resultados indica que, com um intervalo de confiança de 95% e um nível de significância alfa de 0,05 a condição de lubrificação tem significativa influência na redução dos esforços de usinagem, a Tabela 2 evidencia os mesmos.

Variável	P - Value	Variável	P - Value	Variável	P - Value
A Seco		Fluido LB 2000		Fluido Babaçú	
Fx	> 0,05	Fx	0, 000220	Fx	0, 000315
Fy	> 0,05	Fy	0, 000438	Fy	0, 000494
Fz	> 0,05	Fz	0, 00326	Fz	0, 00716

Tabela 2. Análise de experimentos com dois níveis de fatores 2 ** (4 - 0)

5 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem algumas conclusões dentro das condições testadas:

- Os esforços de corte foram maiores para a condição crítica, onde se utilizou as máximas condições de corte; ($v_{c\text{máx}}$, $f_{z\text{máx}}$ e $a_{p\text{máx}}$);
- O óleo de coco babaçú utilizado como fluido de corte apresentou resultados dos esforços de corte em linha quando comparado ao fluido LB 2000 e menores quando comparado com a condição a seco, o que nos leva a crer que o mesmo pode vir a ser um substituto em potencial para os demais fluidos de usinagem;

AGRADECIMENTOS

Um dos autores, como beneficiário, agradece em especial a Capes – Brasil – pelo auxílio financeiro de participação a este evento.

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU) / Faculdade de Engenharia Mecânica

(FEMEC) / Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)

Ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA) / Departamento de Mecânica e Materiais (DMM), pelo apoio material na utilização das máquinas e instrumental necessários para realização deste trabalho.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

REFERÊNCIAS

Astakhov, V. P. "A treatise on material characterization in the metal cutting process". Part 2: "Cutting as the fracture of workpiece material". *Journal of Materials Processing Technology*. v. 96. pp. 34-41, 1999.

CIMM - Centro de Informação Metal Mecânico, 2009.

Diniz, A. E. Marcondes, F. C.; Coppini, N. L. "Tecnologia da Usinagem dos Materiais". 2ª ed. São Paulo: Editora Artliber. 2000. 244p.

Hamid, A. A.; Ali, Y. "Experimental determination of dynamic forces during transient orthogonal turning". *Journal of Materials Processing Technology*. v. 55, p. 162-170, 1995.

Jacob, J. "Emulsions containing vegetable oils for cutting fluid, application", *Colloids Surf A: Physicochem Eng Aspects* 237 (2004), pp. 141–150.

Machado, A.R., Coelho, R.T., Abrão, A.M, Da Silva, M.B., 2009, "Teoria da Usinagem dos Materiais." Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 384 p.

Peter, C.R. "Mist generation from metal working fluids formulated using vegetable oils", *Ann, Occup Hyg, Br Occup Hyg Soc* 40 (2005), pp. 283–293.

Shaw, M. C. "Metal Cutting Principles". Great Britain: Clarendon Press. 1984. 651p.5.

Singh, A.K. et al., "Metal working fluids from vegetable fluids", *J Synth Lubr* 123 (2006), pp. 167–176.

Sokovic, M., Mijanovic, K. "Ecological aspects of cutting fluids and its influence on quantifiable parameters of the cutting processes". *Journal of Materials Processing Technology, Slovenia*, n. 109, p. 181-189, 2001.

Strafford, K. N. "Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting forces". *Journal of Materials Processing Technology*. v. 67. p. 150-156, 1997.