

ANÁLISE LUBRIRREFRIGERANTE DE FLUIDOS DE CORTE

Daniel de Carvalho Secco, danielseccosdj@gmail.com¹

Hidekasu Matsumoto, hidekasu@dem.feis.unesp.br¹

Alessandro Roger Rodrigues, roger@sc.usp.br²

Afonso Carlos Oliver, afonso.c.oliver@gmail.com¹

André Nozomu Sadoyama Barrios, andrenozomu@gmail.com¹

¹UNESP Campus de Ilhs Solteira, Av. Brasil Centro 56, CEP 15.385-000, Ilha Solteira-SP

²USP Campus de São Carlos, Av. Trabalhador São-Carlense 400, CEP 13.566-590, São Carlos-SP

Resumo: Durante o processo de usinagem, calor é gerado devido à deformação plástica do material da peça e ao atrito peça-ferramenta-cavaco. Este calor prejudica o desempenho da ferramenta, a precisão dimensional e qualidade superficial da peça. A fim de remover calor da zona de corte e diminuir seus efeitos geradores, são aplicados os fluidos de corte. Para isto, o fluido tem de atuar como um bom refrigerante e lubrificante, diminuindo o coeficiente de atrito entre as superfícies em contato. Neste trabalho fez-se uma avaliação das propriedades lubrirrefrigerantes de três fluidos de corte recém-desenvolvidos e ainda carentes de testes de desempenho, sendo um deles ainda não lançado no mercado. Para tal avaliação, fez-se ensaios com remoção de cavaco (usinagem) e sem remoção. Para o primeiro, utilizou-se um centro de usinagem CNC com termopares acoplados à peça para a aquisição da temperatura. Para o segundo, foram aplicados métodos normalizados para a avaliação da lubrificidade (ensaio "pino-no-disco") e da refrigeração (imersão de corpo de prova instrumentado aquecido nos fluidos de teste). Por meio dos ensaios, observou-se o quanto prejudicial o corte a seco pode ser para o processo de desgaste da ferramenta e perda da precisão dimensional da peça. Os fluidos sintéticos e semissintéticos apresentaram eficiência muito superior, sobretudo o primeiro, no que se refere à refrigeração e até mesmo à capacidade de lubrificação.

Palavras-chave: fresamento, fluidos de corte, refrigeração, lubrificação

1. INTRODUÇÃO

Todo processo de usinagem gera calor devido à energia decorrente do atrito interno (formação do cavaco) e externo (interface ferramenta-peça-cavaco). Cerca de 97% da energia consumida em um processo de usinagem dos metais é transformado em calor (Shaw, 1997).

Os fluidos de corte devem fornecer uma camada lubrificante entre a ferramenta e a peça de modo a reduzir o atrito. Os fluidos devem também funcionar como refrigerante para reduzir o calor produzido durante a usinagem. Este efeito reduz o risco de alterações dimensionais na peça. Além disso, os fluidos devem atuar também no sentido de facilitar o fluxo de saída dos cavacos. Todos estes atributos apontam no sentido de evitar o desgaste da ferramenta e reduzir a energia necessária no processo.

Em adição, é desejado que os fluidos de corte produzam um acabamento adequado, sobretudo em peças de elevada precisão. Qualquer discussão sobre os requisitos de fluidos de usinagem deve incluir o fato de que o ímpeto da fabricação, desde os tempos da revolução industrial, é o de fabricar peças com a maior velocidade possível, o maior tempo de vida da ferramenta, e com o mínimo de inatividade e peças rejeitadas, todas mantendo a precisão e os requisitos de acabamento (Byers, 2006).

Aproximadamente um terço do calor gerado no corte de metal é causado por atrito externo, outros dois terços do calor gerado é causado por atrito interno (resistência dos átomos do metal em movimento quando este é deformado na zona de corte). O uso do lubrificante reduzirá a quantidade de calor gerado através do atrito por decréscimo do contato metal-metal, pois o atrito é reduzido cerca de 30% quando na sua utilização (Alves, 2005).

A remoção do calor gerado na zona de cisalhamento primário pode ter pouco efeito na vida ou desempenho das ferramentas de corte. Por outro lado, de acordo com Trent e Wright (2000), o calor gerado próximo à interface ferramenta-peça é de suma importância, particularmente sobre condições de altas velocidades de corte onde a fonte de calor é uma estreita zona de fluxo na superfície da ferramenta. O refrigerante não pode agir diretamente nesta estreita zona na qual o calor é gerado. No entanto, o refrigerante pode remover o calor das superfícies do cavaco, da ferramenta e da peça que são acessíveis ao refrigerante. A remoção do calor por condução através do cavaco e da peça é provável ter baixa implicação na temperatura da interface peça-ferramenta. Isto se deve ao constante movimento relativo entre

peça e cavaco, que torna o tempo de contato entre estas partes e o refrigerante muito reduzido para que a troca de calor ocorra de modo eficiente, e o calor possa ser extraído da fonte.

Este artigo quantifica as propriedades lubrificantes de três fluidos de corte recém-desenvolvidos e ainda carentes de testes de desempenho por meio de ensaios com e sem remoção de cavaco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os fluidos de corte utilizados neste trabalho foram dois fluidos semissintéticos e um sintético fornecidos pela empresa Blaser Swisslube do Brasil. Na Figura 1, é possível visualizar os fluidos utilizados nos ensaios.



Figura 1. Fluidos estudados.

O fluido 1 é um fluido semissintético de nome comercial “Blasocut BC 20”. O fluido 2 é um fluido semissintético Blaser “Universal 2000”, enquanto o fluido 3 é um fluido sintético recém desenvolvido pela Blaser e ainda não lançado no mercado. Os fluidos 1, 2 e 3 foram adicionados à água na proporção de 8%, 8% e 3%, respectivamente, de acordo com o recomendado pelo fabricante.

2.1. Resfriamento Estático

As curvas de resfriamento foram obtidas utilizando-se um corpo-de-prova de aço VP100, que é um aço de usinabilidade melhorada e utilizado na confecção de moldes e matrizes, cedido pela Villares Metals S/A, de dimensões e geometria padronizadas pela norma ASTM D6200. Inseriu-se um termopar rígido do tipo K de 300mm de comprimento em um furo de 3mm de diâmetro e 36mm de profundidade no centro da seção transversal do corpo-de-prova cilíndrico, com dimensões de 12,5mm de diâmetro e 66mm de comprimento. O conjunto corpo-de-prova e termopar foram aquecidos a 850°C em um forno elétrico cilíndrico vertical.

imediatamente após a retirada do forno, o conjunto foi mergulhado no fluido teste de modo a ficar 50mm de fluido acima e abaixo do corpo-de-prova de acordo com a norma. A queda de temperatura foi registrada pelo sistema de aquisição (placa TC-08) conectado ao termopar e o gráfico do resfriamento pelo tempo foi gerado pelo software PicoLog. Para cada teste utilizou-se um novo corpo-de-prova, mantendo-se sempre as mesmas condições de temperatura e pressão (Fig. 2).

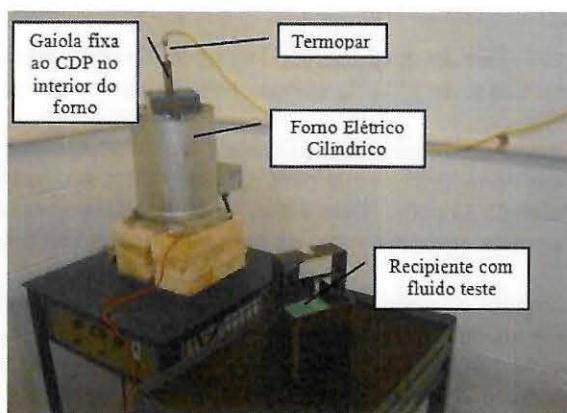


Figura 2. Montagem experimental para o ensaio de resfriamento estático.

2.2. Lubricidade

Este estudo foi desenvolvido baseando-se na norma ASTM G99-05. O método relacionado por esta norma abrange um processo de laboratório para determinação do desgaste dos materiais e lubricidade dos fluidos em análise durante um processo deslizante. Os materiais são testados aos pares.

Para o teste de desgaste “Pino no Disco”, dois corpos de prova são necessários. Um deles, um pino com uma ponta faceada, é posicionado perpendicularmente a outro, um disco circular plano. O disco de ensaio é fixado ao eixo de um motor que o faz girar em torno do seu centro. O pino fixo a um suporte atrita contra a superfície do disco imerso em um fluido teste (Fig. 3).

A trajetória de deslizamento sobre a superfície do disco é circular. O pino é pressionado contra o disco sob uma carga especificada, geralmente por meio de um braço ou alavanca e anexado a pesos.

O desgaste causado devido ao atrito e, por conseguinte, o poder de lubrificação dos fluidos é obtido por meio de comparações da massa de material removido. No caso desta pesquisa, em particular, o disco foi fabricado com o aço VP100 e na ponta do pino foi soldado um pequeno disco de metal duro (inserto) buscando simular mais fielmente o processo de usinagem, mesmo em baixas velocidades.



Figura 3. Montagem experimental do ensaio “Pino-no-Disco”.

2.3. Resfriamento Dinâmico

Os ensaios foram realizados em um centro de usinagem vertical CNC Romi Discovery 560, adotando-se fresamento de topo discordante, insertos Sandvik Coromant revestidos de TiAlN, R390-11 T3 08M-PM 4230, suporte dos insertos de \varnothing 25 mm para 2 arestas (R390-025Q25-12L). O arranjo utilizado na usinagem pode ser visto na Fig. (4).

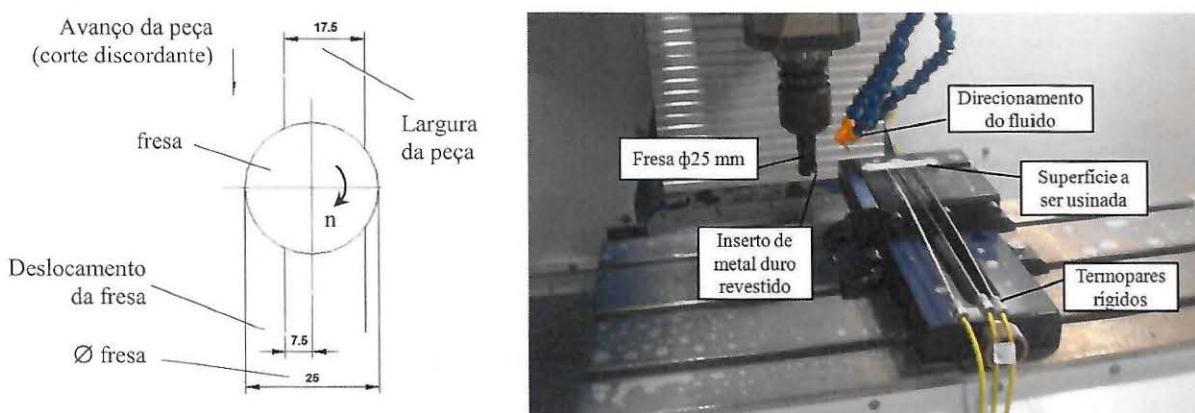


Figura 4. Montagem experimental do ensaio de resfriamento dinâmico com remoção de cavaco.

Os parâmetros de corte adotados são apresentados na Tab. (1). Nos testes foram empregados corpos de prova com dimensões 17,5 x 15 x 100 mm, sendo estas as dimensões respectivamente, da largura de corte, da superfície de inserção dos termopares e do comprimento de usinagem (Fig. 5).

Tabela 1. Parâmetros de usinagem.

Parâmetros	v_c (m/min)	a_p (mm)	a_e (mm)	f_z (mm/dente)	n (rpm)	v_f (mm/min)	Q (cm ³ /min)	T_c (s)
Condições	200	2	17,5	0,1	2546	509	15,27	11,8
	450	2	17,5	0,1	5730	1146	34,38	5,2

As medições das temperaturas foram feitas pelo mesmo sistema utilizado no resfriamento estático descrito anteriormente. Basicamente, termopares rígidos tipo K conectados à placa TC-08 de 8 canais (Pico Technology Limited), dispostos na parede lateral dos corpos de prova, a uma distância de 1 mm da superfície usinada, profundidade de 8,75 mm e equidistantes entre si 18,5 mm, como pode ser visto na Fig. (5).



Figura 5. Dimensões do corpo-de-prova e furação para inserção dos termopares rígidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resfriamento Estático

As Figuras 6 e 7 a seguir, foram curvas selecionadas dentre as que apresentaram melhor comportamento para os fluidos em análise. Foram feitas, no total, duas réplicas para cada fluido.

A Figura 6 apresenta a curva de resfriamento do corpo-de-prova em função do tempo obtido no ensaio de resfriamento estático e fornece a capacidade que o fluido possui de refrigerar o material. Ao observar o gráfico, nota-se que quanto maior é a declividade da curva, melhor a capacidade do fluido de refrigerar o material. Fica claro que o fluido de baixa concentração (Fluido 3) apresenta a maior capacidade de refrigeração em relação aos outros fluidos.

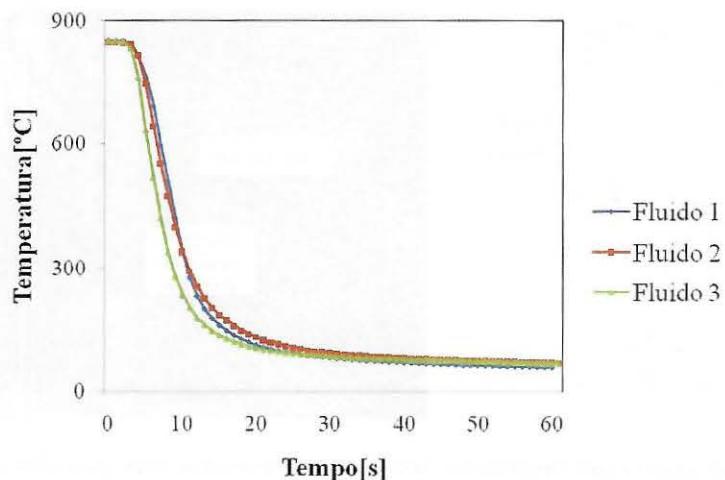
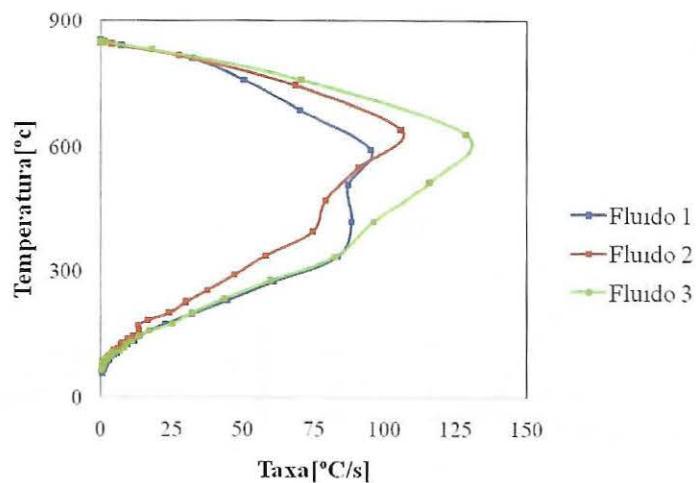
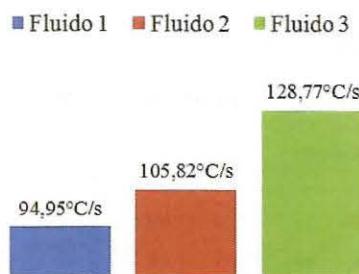


Figura 6. Resfriamento do corpo-de-prova com o tempo para tipos diferentes de fluidos. Variabilidade percentual média de 8,71%

A Figura 7 mostra a derivada das curvas de resfriamento da Fig. (6). Nela é possível verificar detalhes de como se deu o processo de resfriamento entre o corpo-de-prova e o fluido. Ao analisar a Fig. (7), observa-se que a maior taxa de resfriamento ocorre aproximadamente a 600 °C para todos os fluidos. Isso acontece por que durante o resfriamento do corpo-de-prova em qualquer líquido ocorre a formação de bolhas em torno do corpo-de-prova. Estas bolhas são formadas por uma parte do líquido que passou da fase líquida para a fase gasosa devido ao contato do líquido com a superfície aquecida do corpo-de-prova. O fluido no estado gasoso agrupa-se na forma de bolhas junto à superfície do corpo-de-prova e estas bolhas tendem a soltar-se da superfície do mesmo e subir para a superfície do líquido. As variações da taxa de resfriamento notadas na Fig. (7) são consequências deste fenômeno.

**Figura 7. Taxa de resfriamento do corpo-de-prova com o tempo.**

Em termos de magnitude, a Fig. (8) mostra que a taxa de resfriamento do fluido sintético (3) foi aproximadamente 22% superior ao do fluido semissintético (2) e 36% superior ao do fluido semissintético (1). Em aplicações industriais, este dado pode ser de grande relevância, sobretudo para o controle de dimensões da peça, uma vez que uma menor parcela do calor gerado no processo irá para a peça.

**Figura 8. Valores máximos da taxa de resfriamento.**

3.2. Lubricidade

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de lubricidade. Analisando os dados, conclui-se que o fluido sintético (3) é o melhor lubrificante entre os fluidos testados, pois a perda de massa do disco foi aproximadamente 55% menor se comparado aos fluidos semissintéticos. A perda de massa do pino foi reduzida (5 a 15% da perda de massa do disco) e esperada, já que simula a ferramenta de corte durante a usinagem no par tribológico peça-ferramenta. Todavia, pode-se inferir que a ferramenta também se desgasta, acarretando em perda de revestimento e até de substrato.

Tabela 2. Perda de massa devido ao desgaste do pino e do disco.
(Variabilidade entre 0,2 e 13,7%)

	Diferença de massa [g]		
	Fluido 1	Fluido 2	Fluido 3
Disco	0,0097	0,0110	0,0046
Pino	0,0006	0,0006	0,0007

O efeito do menor desgaste no fluido sintético, menos viscoso, em relação às outras condições, pode ser explicado por um parâmetro físico-químico que é a tensão superficial, e que pode ser medido realizando um outro tipo de experimento. Por meio dela, pode-se avaliar o quanto um fluido se dispersa sobre uma superfície, de forma que quanto menor a tensão superficial, maior a “molhabilidade” do fluido. Este fenômeno foi observado no fluido sintético que apresentou tensão superficial inferior ao dos fluidos semissintéticos. Assim, pode ter sido gerado um filme de fluido entre o pino e o disco que dificultou o processo de desgaste.

3.3. Resfriamento Dinâmico

Na Figura 9, pode-se observar os vários ensaios em que foram variados, basicamente, o tipo de fluido e a velocidade de corte. Para cada ensaio foram feitas duas réplica, e dentre estas apresenta-se abaixo as que apresentaram melhor comportamento.

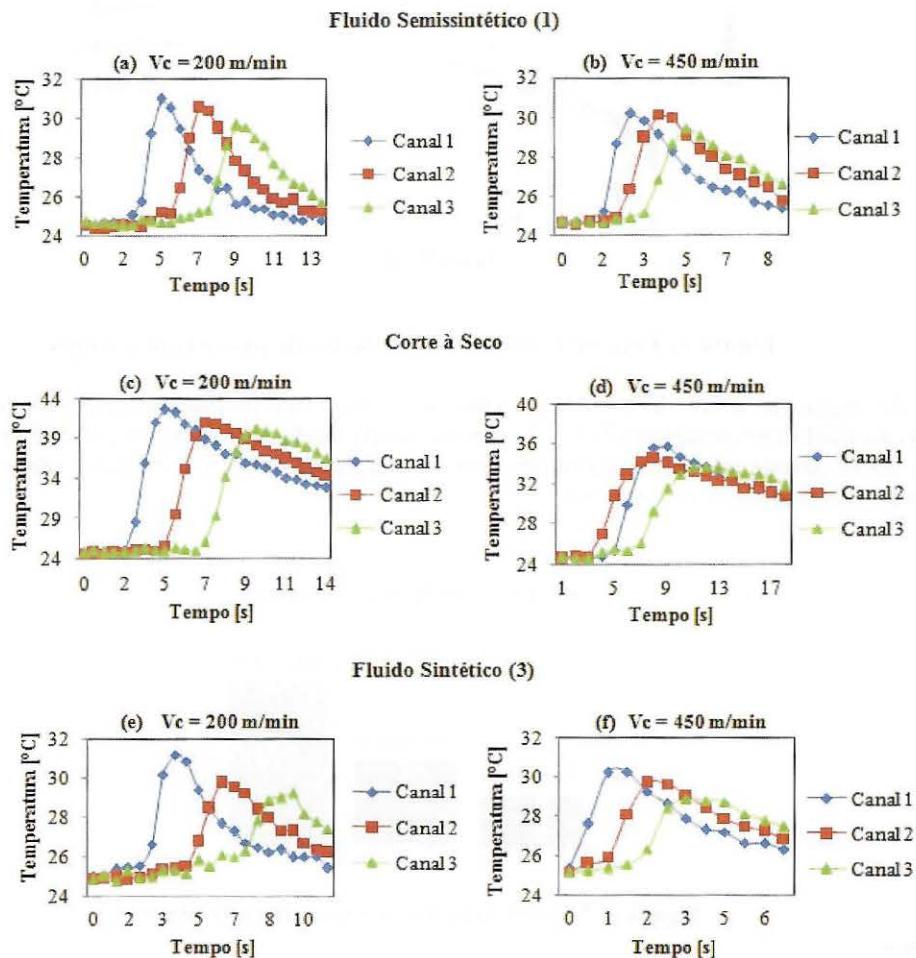


Figura 9. Aquisição de temperatura no decorrer do processo de usinagem. Variabilidades percentuais médias de a) 1,9%; b) 4,0%; c) 2,6%; d) 7,6%; e) 2,1%; f) 0,9%.

Em termos de tendência, é interessante observar que nas condições de corte a seco o tempo de queda da temperatura logo após a passagem da ferramenta sobre a peça é mais longo, devido ao efeito da baixa convectividade do ar em relação aos fluidos. Ainda é possível observar que o último canal em todos os ensaios foi o que registrou menores picos de temperatura. Isto se deve ao maior tempo de contato com o fluido em questão, como pode ser visto na Fig. (4).

Os valores mostrados na Fig. (10) foram obtidos por meio de uma média aritmética simples entre as temperaturas máximas obtidas por cada canal nas condições de corte da Fig. (9).

A variação da velocidade de corte para as condições em que foram aplicados os fluidos de corte não produziu efeito significativo na temperatura. Em todas as condições, a diminuição da velocidade de corte implicou em aumento da temperatura, devido basicamente ao tempo de contato da ferramenta com a peça, aproximadamente 2,3x maior, de acordo com a Tab. (1). A diferença percentual entre os valores médios máximos de temperatura para os pares de condições (a), (b) e (e), (f) foi praticamente o mesmo. Porém entre as condições (c) e (d) a diferença na temperatura máxima de corte foi de 19%. Isto indica o quanto prejudicial pode ser o corte a seco na produção de uma peça, podendo incorrer em perdas de dimensões ou até de qualidade superficial.

Ao verificar a influência do tempo de corte no aumento da temperatura da peça, é possível observar que o maior tempo de contato peça-ferramenta intensificou a geração de calor na região de corte, que foi transferido para a peça. Este efeito é devido ao maior atrito na zona de cisalhamento, em conjunto com a baixa velocidade de corte, provocando grande deformação do cavaco.

Comparativamente às outras condições, é possível verificar que se for levado em consideração os desvios padrões, os fluidos sintético e os semissintéticos foram os refrigerantes mais eficazes. Em relação à condição a seco, seu

rendimento foi 37% superior comparando (c) e (e), e 17% comparando (d) e (f). Esta diferença na refrigeração da peça é resultado principalmente da diferença entre os coeficientes convectivos do ar e dos fluidos.

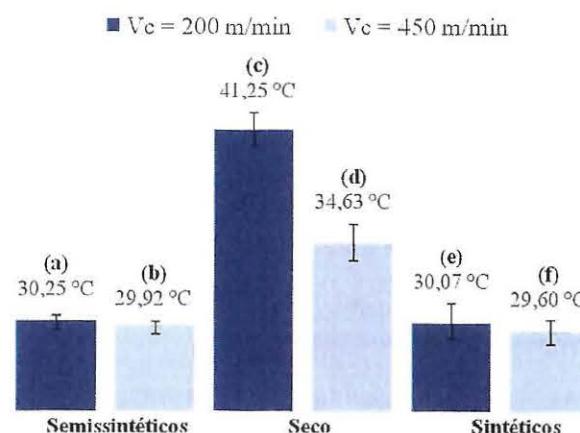


Figura 10. Médias das temperaturas máximas para todas as condições de corte.

4. CONCLUSÕES

- O fluido sintético apresentou capacidade refrigerante em média 29% superior aos fluidos semissintéticos, no que se refere ao ensaio de refrigeração estático;
- Não houve aumento significativo na temperatura de usinagem com o aumento da velocidade de corte, quando se aplicou fluidos de corte;
- Devido à baixa convectividade do ar, no corte a seco, a diminuição da velocidade de corte, e por conseguinte aumento do tempo de corte, incorreu em aumento de 19% da temperatura máxima obtida;
- Se comparado ao corte a seco, os fluidos de corte apresentaram eficiência 26% superior na refrigeração da peça no ensaio dinâmico;
- Por meio dos resultados de capacidade refrigerante do fluido sintético em relação aos semissintéticos nos ensaios de resfriamento estático e dinâmico, foi possível verificar que as variáveis no processo dinâmico tornam os mecanismos de transferência de calor muito mais complexos;
- Os fluidos semissintéticos, mesmo sendo mais viscosos, apresentaram capacidade lubrificante inferior ao fluido sintético, aproximadamente 55%. Este resultado pode ser efeito da maior tensão superficial destes fluidos em relação aos sintéticos e, portanto, de uma baixa “molhabilidade” da superfície do disco ensaiado.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de pesquisa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da verba para aquisição de materiais, à Blaser Swisslube do Brasil pelo apoio técnico e fornecimento dos fluidos de corte, à Villares Metals pela doação do material da peça utilizado nos ensaios e por toda colaboração do professor Doutor Aparecido Carlos Gonçalves ao ceder equipamentos necessários para a realização da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Alves, S.M., 2005, “Adequação ambiental do processo de retificação através de um novo conceito de fluido de corte”, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos.
 Byers J.P., 2006, “Metalworking Fluids”, Ed. CRC Press, Boca Raton, USA, 480 p.
 Shaw, M.C., 1997, “Metal Cutting Principles”, Ed. Oxford University Press, Oxford, USA, 616 p.
 Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”, Ed. Butterworths-Heinemann, Oxford, USA, 446p.

7. DIREITOS AUTORAIS

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