



## MONITORAMENTO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA UTILIZANDO REBOLOS CONVENCIONAIS E SUPERABRASIVOS DE CBN, SUBMETIDOS À MÍNIMA QUANTIDADE DE REFRIGERAÇÃO (MQR)

**Rodrigo Daun Monici**  
**Eduardo Carlos Bianchi**  
**Paulo Roberto de Aguiar**  
**Ivan de Domenico Valarelli**

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Dep. de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N<sup>o</sup>, Vargem Limpa, Bauru-SP. E-mail: daun@feb.unesp.br

**Resumo.** *O presente trabalho trata de uma pesquisa realizada sobre o processo de retificação, considerado um dos últimos processos de acabamento realizado em uma linha de produção. Existem diversas ramificações sobre o processo de retificação, cabendo ressaltar que nesse trabalho foi utilizado o processo de retificação cilíndrica externa de mergulho. Ocorrem diversos parâmetros de entrada nesse processo, entretanto, atualmente muita atenção tem sido prestada à forma e quantidade de fluido de corte aplicado, visto que tais substâncias provocam sérios danos à saúde do trabalhador e à natureza, quando utilizadas e dispostas de maneira irregular. A forma e quantidade de aplicação de fluido geram influências diretas sobre variáveis de saída do processo como força tangencial de corte e energia específica de retificação. Nesse trabalho foi desenvolvida uma metodologia otimizada de aplicação de fluido de corte visando sua redução no processo de retificação e comparando seu desempenho com o processo convencional de aplicação, utilizando-se para tanto dois tipos de fluido de corte (emulsão sintética 5% e óleo integral) e duas ferramentas abrasivas (rebolo de óxido de alumínio e superabrasivo de CBN). Os resultados mostraram que em todas as situações a aplicação otimizada de fluido resultou em melhoria de eficiência do processo, principalmente na utilização do óleo integral e do rebolo superabrasivo de CBN.*

**Palavras - chave:** *Aplicação otimizada, CBN, Fluido de corte*

### 1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem encontrados nas indústrias utilizam os fluidos de corte como meio de lubrificação e refrigeração da peça produzida. A tendência mundial é produzir peças cada vez mais sofisticadas, com elevado grau de tolerância geométrica, dimensional e acabamento superficial, com baixo custo e sem poluir o meio ambiente. Assim os fluidos de corte que normalmente são utilizados para a operação de retificação, eram descartados no meio ambiente o que nos dias atuais não é mais viável pelo rigor das leis, da fiscalização e de um novo conceito de produzir com a adoção do “selo verde”. Este indica se os processos utilizados para a produção de uma determinada peça não prejudica o meio ambiente e, dessa forma, a utilização em massa de fluidos de corte tendem a diminuir com o passar do tempo, tornando-se necessário pesquisas a respeito de tal assunto para que se diminua a participação de tais fluidos no meio ambiente e, conseqüentemente, no setor produtivo. Para tanto, é necessária uma análise mais aprofundada das conseqüências desse tipo de alteração a respeito do estado final da peça usinada.

Segundo Ebbrell et al. (1999), os benefícios fornecidos pelo fluido de corte são diversos frente ao setor industrial, porém o armazenamento dos mesmos muitas vezes é feito de forma insatisfatória. Assim elevadas quantidades de fluido de corte, são utilizadas nas indústrias de maneira incorreta, como exemplo, em muitas indústrias ocorre grande dispersão de fluido no momento da usinagem, gerando dessa forma grandes perdas. A lubrificação e a refrigeração dependem da efetiva entrada de fluido na região de corte, não havendo efetivamente a necessidade de volumes elevados, considerando que parte deste não esteja penetrando na região de corte efetivamente. Assim o tipo e o posicionamento do bocal exercem grande influência no processo.

Segundo Webster (1999), grandes volumes de fluido de corte estão se tornando necessários pelo crescimento da produtividade das indústrias e ao crescimento da utilização do processo. Um cuidado especial deve ser tomado com a utilização dos fluidos a base de água, quando comparados aos fluidos à base de óleo, pois os primeiros possuem baixa densidade, ocorrendo assim, no momento de sua utilização grande dispersão promovida pelos bocais convencionais. Surge então a necessidade de grandes quantidades de fluido de corte, para compensar tal perda por dispersão, fazendo necessário a adoção de máquinas de grande porte, enormes reservatórios de fluido de corte, unidades de refrigeração e bombas de alta potência. Um outro problema existente é a pressão de ar gerada entre o jato de fluido e a ferramenta, proporcionando a dispersão do mesmo durante sua penetração na região de corte, tornando necessário a utilização de um bocal mais eficiente.

## 1.2. Considerações Quanto ao Processo de Retificação e o Mecanismo de Remoção de Material

O processo de retificação cilíndrica externa de mergulho e o processo de remoção de cavaco podem ser verificados na fig. (1). A figura (1a), ilustra o processo de maneira geral, com os principais parâmetros que influenciam o processo como profundidade de usinagem “ $a$ ”, diâmetro do rebolo “ $d_s$ ”, velocidade superficial do rebolo “ $V_s$ ”, velocidade superficial da peça “ $V_w$ ”, diâmetro da peça “ $d_w$ ”, comprimento do cavaco “ $l_c$ ” e região de geração de calor promovida pelo corte “ $q$ ”. A figura (1b), mostra o mecanismo de formação do cavaco desde sua deformação plástica até a formação do cavaco propriamente dita, para a operação de retificação tangencial plana, semelhante ao processo de formação de cavaco na operação de retificação cilíndrica externa de mergulho.

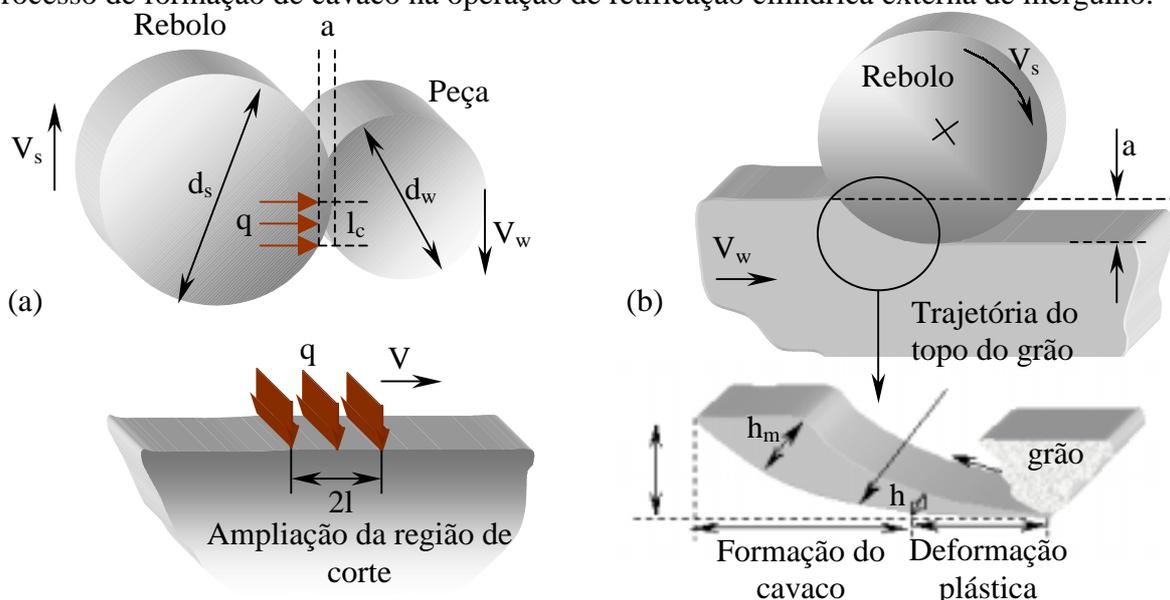


Figura 1. (a) Parâmetros envolvidos no processo de retificação externa de mergulho, (b) forma geral do mecanismo de formação do cavaco

Segundo Malkin (1989), em grande parte dos casos, o fluido de corte não reduz significativamente as temperaturas na região de corte, pelas dificuldades de penetração dos mesmos nessa região, pelo pequeno comprimento de contato e muitas vezes devido à barreira aerodinâmica gerada pela superfície do rebolo, a qual possui velocidade “ $v_s$ ”. A velocidade com que o jato de

fluido de corte deve penetrar na região de contato deve ser igual à velocidade periférica do rebolo, para que haja o rompimento efetivo da barreira aerodinâmica, permitindo ao fluido de corte exercer sua função no processo de forma otimizada (Webster, 1995). Segundo Kohli e Malkin (1995), a refrigeração da zona de corte é efetiva somente em operações de “creep-feed”, caracterizado por apresentar elevadas penetrações e baixas velocidades da peça, os quais geram grandes comprimentos de contato, conforme fig. (1b), permitindo que o fluido seja levado na região de corte, ocasionando uma refrigeração considerável. Entretanto os fluidos de corte, quando corretamente aplicados, permitem a refrigeração da peça como um todo (exceto na posição instantânea da região de corte), ajudando a controlar os erros dimensionais e os erros de forma pela menor sollicitação térmica da peça. Os fluidos de corte diminuem as temperaturas na região de corte de forma indireta, através de suas propriedades lubrificantes, reduzindo o atrito e conseqüentemente o desgaste do topo dos grãos do rebolo, gerando menos calor pela diminuição da energia despendida no deslizamento e no “plowing”, responsável pela deformação plástica do material durante sua remoção. O mecanismo de desgaste do topo dos grãos abrasivos pode ser encontrado na fig. (2), mostrando que o desgaste excessivo das arestas de corte dos grãos abrasivos aumentam consideravelmente a superfície de contato, força tangencial de corte, energia específica de retificação, temperatura, tensão residual, etc.

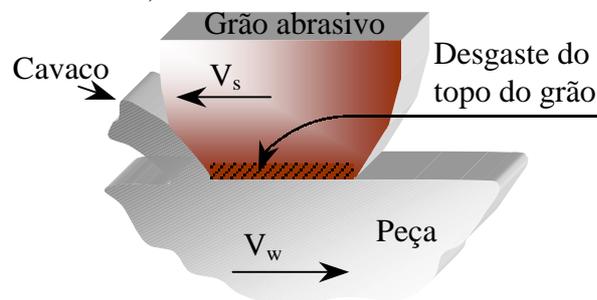


Figura 2. Mecanismo de desgaste e aumento da área de contato de grãos abrasivos

### 1.3. Elevado Desempenho em Retificação de Superfícies - A Influência dos Parâmetros de Entrada no Processo Abrasivo

Segundo Brinksmeier e Minke (1993), recentemente muito estudo está focado no desenvolvimento de retificação de alto desempenho, visando a melhoria do entendimento do processo e aplicação de novas tecnologias à favor das indústrias. Atualmente máquinas especialmente projetadas e ferramentas superabrasivas de CBN estão disponíveis no mercado e conhecimentos referentes à retificação e à processos de dressagem tem sido alcançados. Entretanto há problemas associados ao processo, cuja solução está intimamente ligada aos constantes esforços a serem realizados no futuro. A aplicação de novos métodos com relação aos materiais de difícil retificação, como aços de alta velocidade (rápidos), carboneto de tungstênio, ligas de níquel, titânio, cerâmica e vidro, permitirão uma considerável evolução. Nas pesquisas, várias questões devem ser observadas mais detalhadamente, pois os esforços de corte, a potência requerida pelo processo, a temperatura, os danos induzidos à sub-superfície e a qualidade do trabalho devem ser analisados conjuntamente às fenomenologias de corte. Os efeitos e possibilidades de substituição do óleo mineral comumente usado, pelo óleo solúvel ou fluidos alternativos também assumem um papel importante que deve ser investigado.

Segundo Malkin (1989), o processo de retificação requer uma quantidade significativa de energia, por unidade de volume, para a remoção de material. Durante o processo, essa energia é transformada em calor, o qual é concentrado dentro da região de corte. As elevadas temperaturas podem produzir vários tipos de danos térmicos à peça, tais como: queima superficial, transformações microestruturais, aquecimento superficial da peça possibilitando a realização de têmpera superficial, re-têmpera do material (quando da usinagem de um aço temperado), com a formação de martensita não revenida, gerando tensões residuais de tração indesejáveis e redução do limite de resistência à fadiga do componente usinado. Além disso, a expansão térmica da peça

durante a retificação contribui para erros dimensionais e de forma no componente final. As taxas de retificação hoje utilizadas são limitadas pelas temperaturas máximas permissíveis no processo de retificação, as quais, quando ultrapassadas, podem levar ao deterioramento da qualidade final da peça produzida. As temperaturas geradas durante o processo de retificação são consequência direta da energia introduzida no processo. Em geral a energia e a potência consumida durante o processo é um dado de saída não controlado, os quais variam consideravelmente em função do tipo de ferramenta utilizado, das condições de afiação e do desgaste da mesma, além do tipo de fluido de corte utilizado e das condições de usinagem.

#### **1.4. Aspectos Energéticos**

Segundo Marshall et al. (1952) e Backer et al. (1952), os estudos da força e energia específica de retificação, começaram no início dos anos 50 e mostraram que a energia específica envolvida era muito maior quando comparada àquela encontrada em outros processos de usinagem.

Quando estes estudos foram realizados, um modelo clássico de formação de cavaco foi formulado por Merchant (1954), o qual foi amplamente utilizado para vários processos de corte de materiais metálicos. De acordo com este modelo, a formação do cavaco ocorria através de um intenso processo de cisalhamento em uma camada extremamente fina, seguido de um processo de atrito, como se o cavaco deslizesse sobre a face de incidência da ferramenta. Tipicamente, de toda a energia gerada no processo, o cisalhamento do cavaco era responsável pela geração de 75% da energia total e os 25% restantes eram devido ao atrito cavaco-ferramenta. Entretanto, muitos outros efeitos secundários foram observados ao longo dos anos. Porém, ainda hoje, este modelo é ainda considerado uma forma precisa de descrição da formação do cavaco.

Como em outros processos de corte de metais, segundo Backer et al. (1952), uma tentativa foi feita visando interpretar as forças de retificação, em função dos mecanismos de formação do cavaco. Através de considerações pertinentes referentes à geometria típica dos grãos abrasivos, estimativas da tensão de cisalhamento foram efetuadas, devido à deformação plástica do material durante a formação do cavaco. Entretanto, estes cálculos mostraram que as tensões de cisalhamento excediam, em muito, as tensões de escoamento dos materiais retificados. Além disso, as maiores tensões eram obtidas para condições de retificação extremamente finas, isto é, para pequenas espessuras de cavaco, ocasionando elevação dos valores de energia específica de retificação.

A fim de relacionar estes resultados discrepantes, segundo Malkin (1989), algumas teorias foram elaboradas. Entretanto, o maior fator de distúrbio para a aplicação da formulação clássica de formação de cavaco é a magnitude da energia específica de retificação encontrada. Toda energia gasta no processo de retificação é convertida em calor. Como o processo de formação do cavaco é extremamente rápido, devido às altas velocidades de corte e altas deformações envolvidas, o processo deve ser considerado adiabático, pela não existência de tempo suficiente para que uma quantidade significativa de calor gerado pela deformação plástica do material seja trocado com o meio durante a deformação. Sob condições adiabáticas, a energia plástica introduzida, por unidade de volume é limitada pela quantidade de energia necessária para elevar, a partir da temperatura ambiente à temperatura de fusão, uma unidade de volume do material. Para o ferro, a energia por unidade de volume é de aproximadamente  $10,5 \text{ J/mm}^3$  e este valor é representativo também para os aços, sob determinadas condições. A energia específica associada à retificação de aços é muito maior que o valor acima mencionado, variando na faixa de  $20$  à  $60 \text{ J/mm}^3$ . Valores superiores à estes não são difíceis de serem obtidos, especialmente em retificações extremamente finas (pequena remoção de material por volta de rebolo). É inconcebível que a energia específica de deformação plástica associada à formação do cavaco possa ser tão superior que a de fusão do material.

## **2. OTIMIZAÇÃO DA APLICAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE**

Segundo Campbell (1995), a qualidade da peça e o custo estão intimamente relacionados com a forma de aplicação do fluido de corte na região de corte. A otimização da forma de aplicação do

fluido de corte no processo é um fator de extrema importância com relação ao custo global envolvido no processo, além de sua relação com o meio ambiente e o ambiente de trabalho gerado. Em situações onde o fluido de corte não é aplicado corretamente, a peça pode ser danificada termicamente, através de queima e tensionamento superficial. A retificação é frequentemente uma das últimas operações realizadas na peça durante seu processo de fabricação global, assim caso uma peça seja excessivamente tensionada durante a retificação, todos os parâmetros previamente adicionados ao processo são eliminados e uma nova metodologia deve ser elaborada. Pequenas taxas de remoção de material e elevado custo podem ser gerados caso o fluido de corte não seja efetivamente utilizado durante processo, ou seja, quando o fluido de corte não penetra na região de corte de maneira coerente, o desempenho do processo como um todo diminui pela falta da retirada de calor gerada e falta de lubrificação. Recentemente não tem ocorrido um método prático ou econômico para quantificar o desempenho da aplicação do fluido refrigerante, sendo tal argumento reforçado por uma nota final recente da Força Aérea Americana, a qual recomendou o desenvolvimento de uma maneira eficiente de quantificação e aplicação do fluido de corte.

Um exemplo de aplicação otimizada de fluido de corte, pode ser verificado na fig. (3), a qual representa uma pesquisa visando a otimização da aplicação do fluido de corte no processo de retificação. Segundo Campbell (1995), uma otimização semelhante foi alcançada pela elaboração de um dispositivo confeccionado em aço, capaz de minimizar o efeito da barreira aerodinâmica gerada pelo rebolo. Esse dispositivo tratou-se de uma chapa metálica (considerada um defletor metálico) posicionada próxima a superfície do rebolo, aproximadamente 30 $\mu$ m, permitindo que a rotação do rebolo subisse de 2500rpm para 3000rpm, considerando a mesma pressão de ar na região de corte.

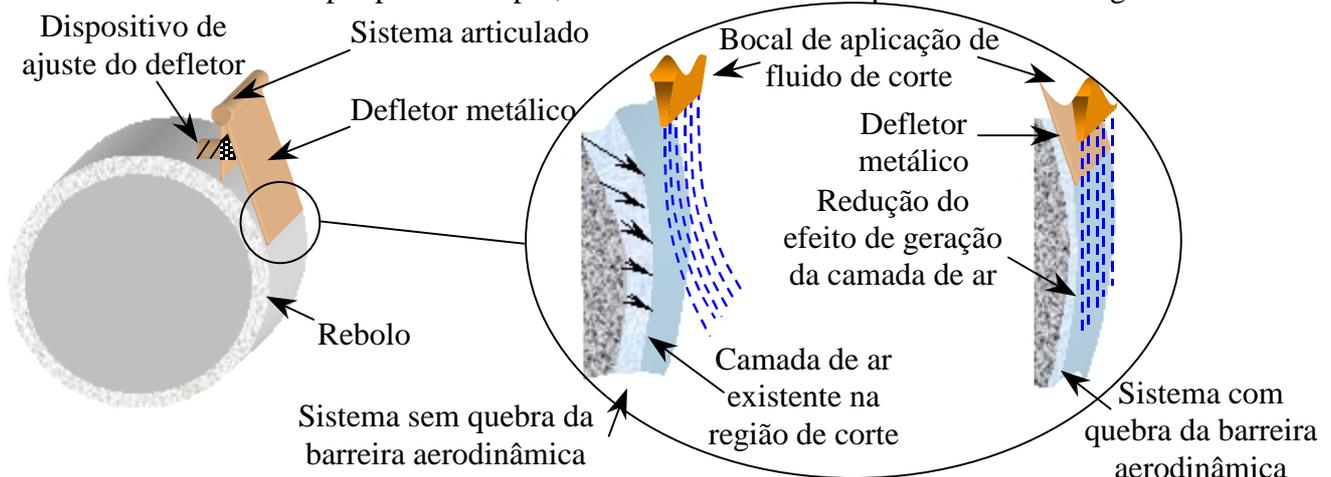


Figura 3. Exemplo de dispositivo utilizado para diminuição da barreira aerodinâmica

Geralmente a importância da aplicação do fluido de corte é observada de maneira superficial. Em situações de não aplicação otimizada, o fluido não possui propriedades de lubrificação, refrigeração e limpeza apropriada da superfície do componente usinado. Há poucos exemplos na literatura que descrevem a aplicação do fluido de corte em detalhes específicos. Isto porque não há métodos práticos de medição do efeito das variáveis envolvidas no processo, com relação à quantidade de fluido de corte que pode ser utilizada. Recentemente tem sido polêmico o debate a respeito da quantidade de fluido de corte que deve ser aplicado ao processo, podendo-se citar alguns temas envolvidos, como a velocidade do fluido de corte, velocidade da ferramenta, ângulo do bocal, melhor projeto do bocal, tipo de fluido de corte, etc.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Bocais de Aplicação e Tipos de Fluido de Corte Utilizados

Os ensaios laboratoriais foram realizados, utilizando-se uma máquina retificadora cilíndrica CNC, com um sistema otimizado de aplicação de fluido de corte por meio de bocais propostos por

Webster (1995), através da relação unitária de velocidades entre o rebolo e o jato de fluido de corte aplicado ao processo. A Figura (4), ilustra o projeto do bocal otimizado proposto por Webster (1995), capaz de aplicar o fluido de corte com a mesma velocidade da ferramenta, para a obtenção de maior eficiência do processo, como constatado anteriormente pelo pesquisador.

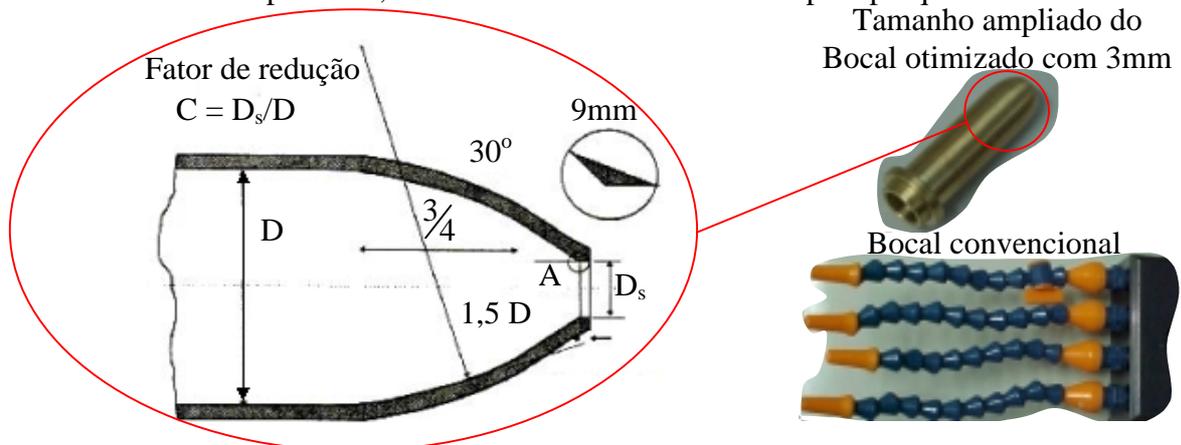


Figura 4 - Bocal otimizado e convencional de aplicação de fluido de corte utilizados

O bocal otimizado com 3mm de diâmetro forneceu uma vazão média de 14 l/min, gerando uma velocidade tangencial de 33m/s, a qual foi utilizada como parâmetro de usinagem fixo em todos os ensaios. A vazão fornecida pelo bocal convencional da máquina retificadora foi de aproximadamente 84 l/min, ou seja, seis vezes superior à vazão utilizada com o bocal otimizado.

Para cada aplicação de fluido de corte realizada nos ensaios, foi utilizado uma emulsão sintética com concentração 5%, composta de aditivos EP (extrema pressão), biocidas, bactericidas, amidas graxas, anticorrosivos e antiespumante, cuja preparação da solução foi feita através de diluição em água. O outro fluido de corte utilizado foi o óleo integral, sendo o mesmo empregado diretamente nos ensaios sem a necessidade de nenhuma operação prévia.

### 3.2. Condição de Usinagem Realizada

A condição de usinagem realizada nesse trabalho foi baseada em levantamento estatístico efetuado no parque industrial da região de São Paulo. Tendo-se em vista o volume de material removido por ensaio (10mm no diâmetro do material), pôde-se verificar que tal condição exigiu do conjunto ferramenta/fluido/modo de aplicação, sua máxima eficiência, tornando os resultados compatíveis com as condições encontradas nas indústrias, consideradas abaixo do limite proposto para cada ensaio, o qual foi realizado continuamente sem intervalos de parada. Utilizou-se então uma velocidade tangencial do rebolo igual a 33m/s, igual à velocidade do jato de fluido de corte fornecido pelo bocal otimizado proposto por Webster (1995). Os ensaios foram constituídos por ciclos de usinagem, os quais foram responsáveis pelo avanço de 100µm do rebolo no diâmetro do corpo de prova, com 3mm de largura de retificação e tempo de “spark out” igual a 8 segundos. Considerando os 10mm de material removido no diâmetro do corpo de prova, obteve-se então 100 ciclos de usinagem, os quais representaram um ensaio completo para cada conjunto de parâmetro de entrada proposto. A operação de dressagem realizada no rebolo convencional teve um grau de recobrimento  $U_d$  (razão entre a largura de atuação do dressador e o passo de dressagem) igual a 1, por meio de ponta única. A operação de perfilamento realizada no rebolo superabrasivo foi obtida por meio de aglomerado de diamante do tipo “fleeze” e constante para todos os ensaios. Cabe ressaltar que foram realizadas três repetibilidades de ensaios para cada condição proposta.

### 3.3. Montagem do Banco de Ensaios e “Software” de Aquisição de Dados

O sistema geral de aquisição de dados das variáveis de saída monitoradas nesse trabalho pode ser verificado na fig. (5). A aquisição da força tangencial de corte foi realizada por meio de um

circuito medidor de potência requerida pelo eixo do motor de indução do rebolo. Dessa forma realizou-se uma calibração do sistema através de um torquímetro, a qual retornou uma equação de calibração responsável pela medição do torque em função da potência requerida pelo eixo da máquina retificadora. Tendo-se tal equação de calibração, confeccionou-se um programa de aquisição de dados, no qual foram inseridos os principais parâmetros de entrada, citados anteriormente. Através do raio do rebolo, fornecido como parâmetro de entrada, o programa realizou os cálculos pertinentes aos respectivos valores de força tangencial de corte.

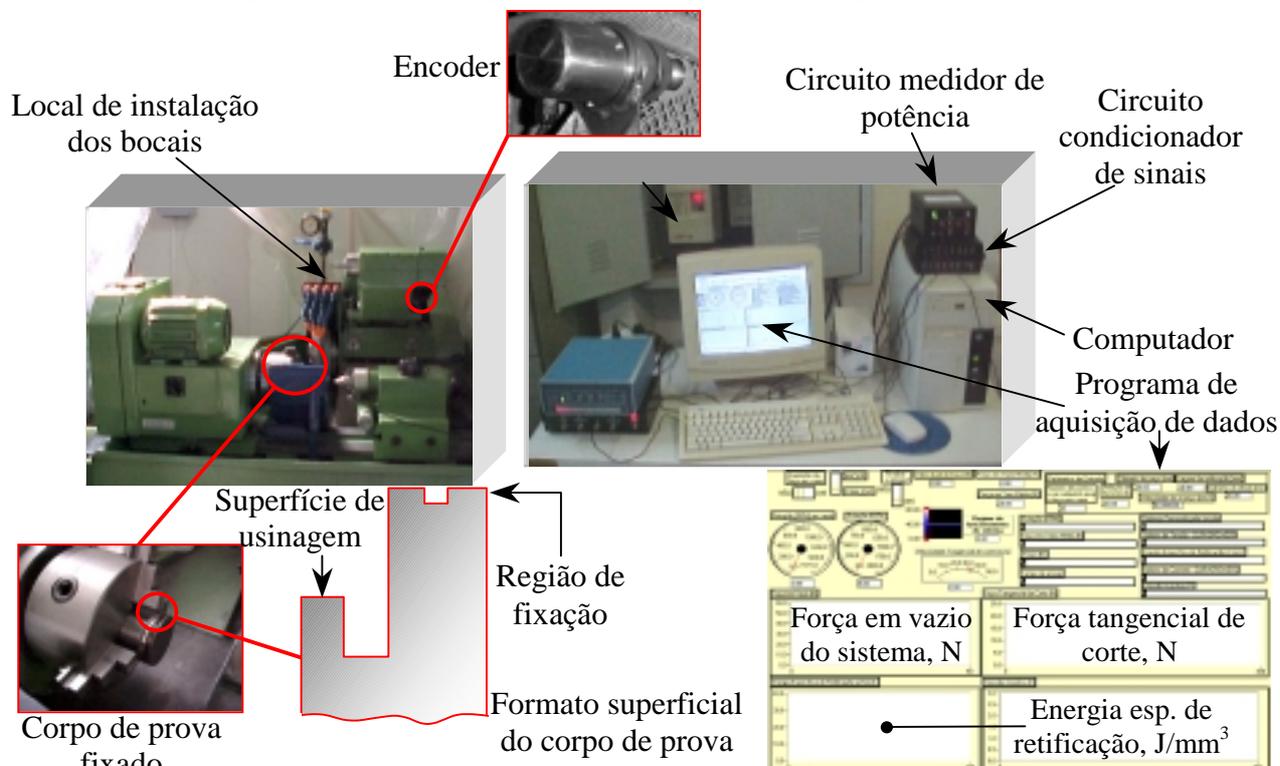


Figura 5. Esquema geral de obtenção das variáveis de saída monitoradas através do “software” de aquisição de dados

A energia específica de retificação ( $J/mm^3$ ) é uma variável de saída relacionada diretamente com a força tangencial de corte (N) e a velocidade periférica da ferramenta, entretanto a mesma é afetada por outros parâmetros como pode ser verificado nas expressões contidas na eq. (1).

$$U_c = \frac{F_{t,c} \times V_s}{\pi \times d_w \times V_f \times b} \qquad V_s = \frac{\pi \times d \times n}{60000} \qquad (1)$$

O cálculo da energia específica de retificação foi realizado pelo “software” confeccionado em linguagem de programação “Labview 5.0.1”, onde os parâmetros (como exemplo “ $d_w$ ” igual a 60 mm) foram inseridos no programa a cada ensaio. A velocidade de avanço da ferramenta “ $V_f$ ” igual a 1,5 mm/min e a largura de retificação “ $b$ ” igual a 3 mm também foram inseridos no programa. A velocidade periférica da ferramenta foi obtida por meio de um “encoder” (Fig. (1)) instalado no eixo de acionamento do rebolo, cujo diâmetro utilizado foi de 350mm.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados de força tangencial de corte foi realizada através de gráficos contendo uma comparação entre a eficiência dos bocais ensaiados, tipos de fluidos de corte utilizados e uma comparação entre as ferramentas testadas. A figura (6), mostra uma comparação entre os dois tipos de fluido de corte utilizados quando da aplicação convencional e otimizada, utilizando-se o rebolo superabrasivo de CBN e convencional, para a operação de retificação proposta em ciclos usinagem.

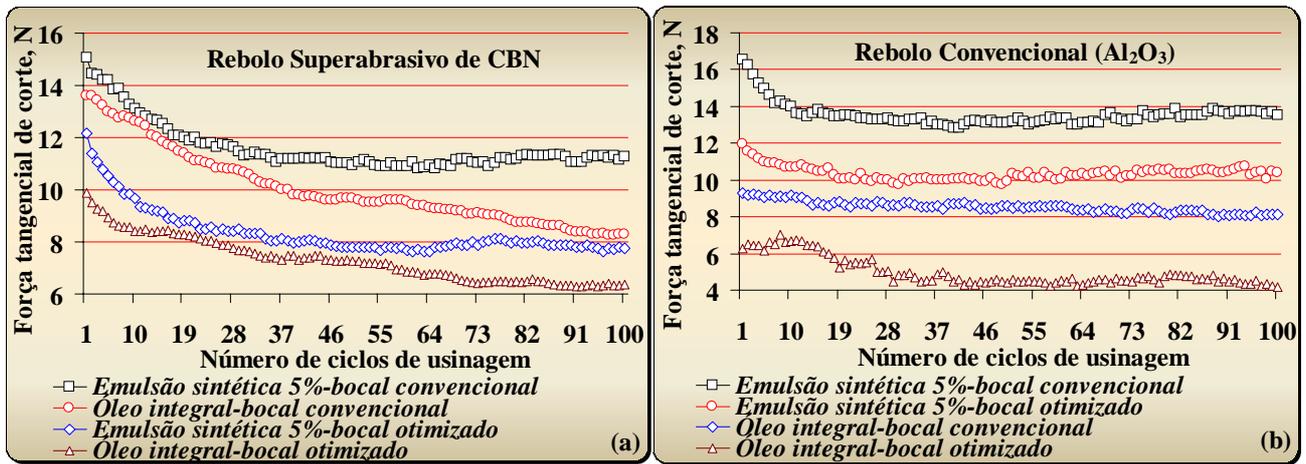


Figura 6. Análise comparativa entre os fluidos de corte e formas de aplicação, (a) para o rebolo superabrasivo de CBN e (b) para o rebolo convencional de óxido de alumínio

Através da figura (6a), pode-se verificar que o desempenho do óleo integral com relação à emulsão sintética foi superior nos dois casos de aplicação. Além desse efeito pode-se analisar também a redução gradativa da força tangencial de corte, quando da utilização do óleo integral nos dois métodos de aplicação. A emulsão apresentou uma certa estabilização da força tangencial de corte pela perda da capacidade de remoção de material promovida pela ferramenta abrasiva, acarretando em um certo aumento da força tangencial de corte. Outro fato ocorrido foi a obtenção de valores de força tangencial de corte superior (fig. (6b)) para o rebolo superabrasivo de CBN, quando da utilização do óleo integral como fluido de corte, pois tal fluido nos rebolos superabrasivos permitem uma melhor lubrificação da área de contato, permitindo que os grãos abrasivos permaneçam por mais tempo presos ao ligante do rebolo, tornando a superfície de suas arestas de corte maior, ocasionando o aumento da força tangencial de corte. A figura (7), mostra os valores obtidos de energia específica de retificação, os quais confirmam os resultados obtidos de força tangencial de corte, pois como citado anteriormente, tal variável apresenta uma relação direta de força tangencial de corte. Observa-se que a utilização do óleo integral em operações de retificação reduzem de maneira acentuada a energia envolvida no processo, principalmente na utilização dos rebolos convencionais, os quais renovam seus grãos abrasivos constantemente.

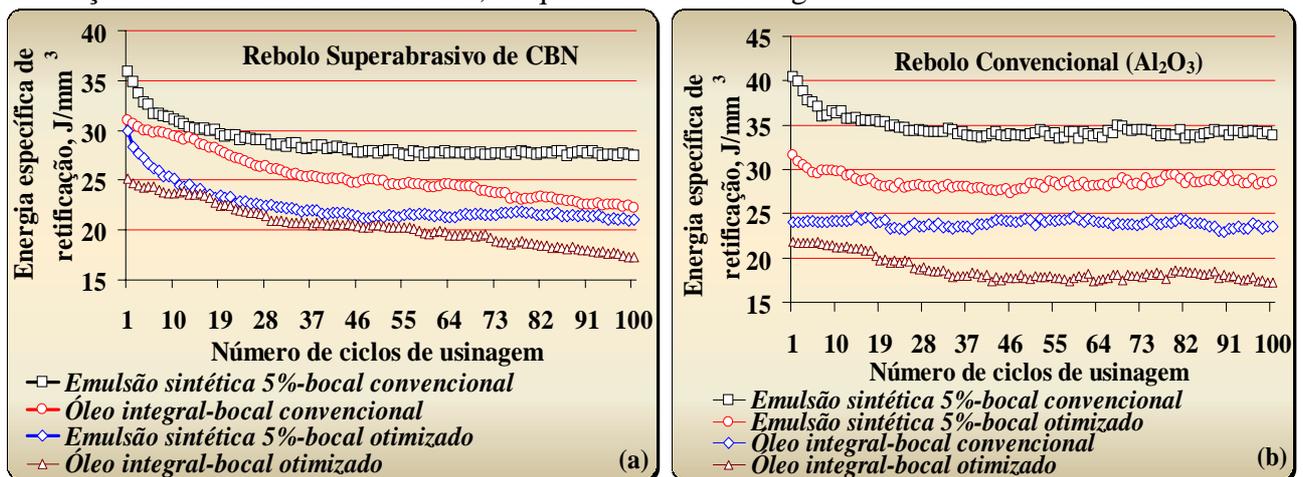


Figura 7. Energia específica de retificação - (a) rebolo superabrasivo de CBN e (b) rebolo convencional de óxido de alumínio

A figura (8), mostra o comportamento obtido, quando da utilização da emulsão sintética 5%. Observou-se uma diferença considerável entre os resultados de energia específica de retificação para ambas as ferramentas de corte. Os resultados obtidos através da emulsão sintética 5% aplicada ao processo, situação em que o rebolo superabrasivo gerou excelente capacidade de remoção de material por sua característica própria construtiva, permitiu renovação constante das arestas de

corte, não necessitando de elevado grau de lubrificação na região de corte. O rebolo superabrasivo de CBN foi capaz de manter sua propriedade de autoafiação ao longo do processo, caracterizando sua aplicação para operações de longos períodos, sem a necessidade de interrupção do processo para constantes operações de afiações necessárias aos rebolos convencionais de óxido de alumínio. Em geral pôde-se observar que o rebolo superabrasivo de CBN obteve um comportamento estável ao longo do processo, pelos motivos aqui citados, ao contrário do rebolo convencional o qual ficou nítida sua perda de capacidade de remoção de material expresso pela tendência de aumento da força tangencial de corte e energia específica de retificação. A emulsão sintética utilizada com o rebolo superabrasivo de CBN obteve um rendimento nitidamente superior ao convencional, através de seu maior poder de remoção de material, mesmo em condições normais de aplicação de fluido, apresentou um rendimento semelhante com relação ao rebolo convencional e método otimizado de aplicação da emulsão sintética 5%.

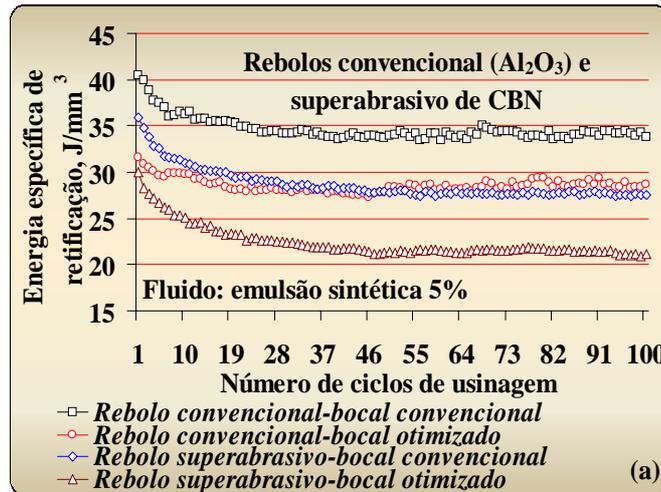


Figura 8. Comparação entre o desempenho do rebolo convencional e superabrasivo de CBN

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram verificar que em todos os casos a aplicação otimizada de fluido de corte, foi altamente eficiente para o processo de retificação cilíndrica externa de mergulho, pelo vencimento da barreira aerodinâmica fornecida pela metodologia otimizada de aplicação de fluido de corte. A emulsão sintética apresentou resultados favoráveis através de sua utilização com o rebolo superabrasivo de CBN, permitindo que essa ferramenta mostrasse seu poder de autoafiação durante o processo. Tal rebolo apresentou um rendimento considerável com a utilização da emulsão sintética e obteve resultados compatíveis com os melhores resultados alcançados pelo rebolo convencional durante os últimos ciclos de usinagem, comprovando o excelente desempenho dos rebolos superabrasivos em operações de longo período.

A redução acentuada de fluido de corte apresentada nesse trabalho permite concluir que há a possibilidade de redução dos custos envolvidos com o processo de forma satisfatória, pois além dos gastos envolvidos com a aquisição dos fluidos de corte, é possível também reduzir os custos relacionados à manutenção e descarte do mesmo. A redução de quantidade de fluido de corte presentes no meio ambiente, permite sua preservação e aumento da qualidade de vida dos trabalhadores, pela redução de sua exposição e contato com tais substâncias.

## 7. AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossos profundos agradecimentos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela enorme colaboração cedida para a concretização desse trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS

- Backer, W.R.; Marshall, E.R.; Shaw, M. C. “The Size Effect in Metal Cutting”, Trans. ASME, 74, 1952, p. 61.
- Brinksmeier, E; Minke, E. “High - Performance Surface Grinding - The Influence of Coolant on the Abrasive Process” Annals of the CIRP, Vol 42/1/1993, p. 367 - 370.
- Campbell, J.D. “Optimized Coolant Application” Technical Paper, MR95-211, Society of Manufacturing Engineers – 1995.
- Ebbrell, S.; Woolley, N.H.; Tridimas, Y.D.; Allanson, D.R.; ROWE, W.B. “The effects of cutting fluid application methods on the grinding process” International Journal of Machine Tools & Manufacture, School of Engineering, Liverpool John Moores University, Liverpool L3 3AF, UK., 8 June 1999.
- Kohli, S.P.; Guo, C.; Malkin, S. “Energy Partition for Grinding with Aluminum Oxide and CBN Abrasive Wheels”. ASME Journal of Engineering for industry, Vol. 117, 1995, p. 160-168.
- Malkin, S. “Grinding Mechanisms” e “Grinding Temperatures and Thermal Damage”, In: MALKIN, S. Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives. 1.ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, 1989. Cap. 5 e 6, p.108 a 171.
- Marshall, E. R.; Shaw, M. C. “Forces in Dry Surface Grinding”, Trans. ASME, 74, 1952, p. 51.
- Merchant, E. “Mechanics of the Metal Cutting Process”, J. Appl. Phys., 16, 1945, p. 207
- Webster, J., “Selection of coolant type and application technique in grinding”. Supergrind, p. 205-218, 1995 b.
- Webster, J. “Optimizing coolant application systems for high productivity grinding” ABRASIVES Magazine, October/November de 1999.

## MONITORING OF CYLINDRICAL GRINDING PROCESS, USING CONVENTIONAL AND SUPERABRASIVE WHEEL WITH MINIMAL QUANTITY OF REFRIGERATION (MQR)

**Rodrigo Daun Monici**

**Eduardo Carlos Bianchi**

**Paulo Roberto de Aguiar**

**Ivan de Domenico Valarelli**

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Dep. de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/Nº, Vargem Limpa, Bauru-SP. E-mail: daun@feb.unesp.br, bianchi@feb.unesp.br

**Abstract.** This paper presents a study of the grinding process. In grinding, the abrasive tool is the grinding wheel, which is basically compounded by the core, the bond and the abrasive grains. In this paper there is a study about an optimized form and a conventional form of application of cutting fluid, where were tested a synthetic emulsion and integral oil. The tools tested in this research were conventional and superabrasive grinding wheels. The optimized form of application has resulted better values of grinding specific energy and tangential force; the integral oil has been the better cutting fluid type with conventional wheel and the synthetic emulsion has been compatible with superabrasive wheel.

**Key words.** Optimized application, CBN, cutting fluid