

## **ANÁLISE DE MÉTODOS DE UTILIZAÇÃO DE FLUIDOS DE CORTE NA RETIFICAÇÃO PLANA DE AÇO**

**Rodrigo Santana Destro, rod\_destro@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Ricardo Fernando Damasceno, damasceno\_ricardo@hotmail.com<sup>1</sup>**

**Marcos Hiroshi Oikawa, ra611328@feb.unesp.br<sup>1</sup>**

**Rogério Melo e Sousa, ra611352@feb.unesp.br<sup>1</sup>**

**Canarin, Rubens Chinali, ra611701@feb.unesp.br<sup>1</sup>**

**Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br<sup>2</sup>**

**Manoel Cléber Sampaio Alves, manoel@itapeva.unesp.br<sup>3</sup>**

**Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Itapeva. Faculdade de Engenharia Industrial Madeireira. Rua Geraldo Alckmin, 519 18409-010 - Itapeva - SP, Brasil.

**Resumo:** *O uso de fluidos de corte no processo de retificação tem como principais objetivos lubrificar e refrigerar a zona de corte, remover os cavacos da região, limpar a superfície do rebolo, e minimizar a corrosão da máquina e seus componentes. No entanto, o uso de fluidos de corte pode causar danos à saúde dos operadores e ao meio ambiente. Em vista disso, deve-se buscar otimizar o uso dessas substâncias no meio industrial. Essa pesquisa teve como objetivo analisar alternativas ao uso de fluidos de corte na retificação plana. Foram analisados três diferentes métodos: convencional, mínima quantidade de fluido (MQL), e um método que utiliza um bocal otimizado. Constatou-se que o bocal melhor estruturado permite melhor limpeza do rebolo, e por isso maior vida útil. A técnica de MQL é viável a baixas profundidades de corte, sendo possível até melhorar os resultados da qualidade superficial utilizando ar comprimido para auxiliar na limpeza da superfície do rebolo.*

**Palavras-chave:** *retificação, fluidos de corte, MQL, otimização, CBN.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os fluidos de corte são aplicados na zona de retificação para diminuir a geração de calor. Esse objetivo é alcançado pela redução do atrito na zona de corte, devido à lubrificação da superfície. Isso faz com que se diminuam também os esforços e a potência de corte, pois parte do calor gerado é retirado dessa zona (refrigeração) (Ebbrell et al, 2000; Irani, Bauer, Warkentin, 2005). Além disso, os fluidos são responsáveis por remover o excesso de cavacos formados, manter a ferramenta de corte (rebolo) limpa, e minimizar a corrosão dos materiais envolvidos (Nguyen e Zhang, 2003; Tawakoli et al, 2007).

Quando aplicados de maneira apropriada, os fluidos de corte podem aumentar a produtividade e reduzir custos, possibilitando o uso de maior velocidade de corte, maior taxa de avanço e melhor profundidade de corte. A aplicação efetiva pode também aumentar a vida útil da ferramenta, reduzir a rugosidade superficial, melhorar a precisão dimensional, e ainda diminuir a potência exigida (Stanford e Lister, 2002).

No entanto, os fluidos de corte utilizados são substâncias perigosas para o meio ambiente. Seu descarte é consideravelmente alto e envolve procedimentos trabalhosos. O custo desses fluidos, com filtragem e descarte, pode ser maior que o custo da ferramenta de corte. Além disso, essas substâncias podem causar danos à saúde dos operadores de máquinas, como dermatites severas, quando em exposição prolongada (Nguyen e Zhang, 2003; Tawakoli et al, 2009).

Uma alternativa interessante é a técnica de mínima quantidade de lubrificante. Neste processo uma mistura de ar-óleo, como um aerosol, é aplicada à zona de contato entre o rebolo e a peça. Essa técnica é um elo de ligação entre os métodos de lubri-refrigeração convencionais e a usinagem a seco. O MQL caracteriza-se como uma alternativa interessante que combina a utilização de ar comprimido, responsável pela refrigeração, misturado a uma pequena quantidade de óleo, que lubrifica a interface de contato peça-ferramenta (Klocke e Einsenblätter, 1997; Tawakoli et al, 2009; Tawakoli, 2003).

Outra alternativa interessante é a otimização da aplicação dos fluidos. Um jato que incida de forma direta sobre a região de corte é capaz de reduzir de forma significativa a temperatura nessa região. No entanto, para que isso ocorra é necessário que o jato possua altas velocidades, para que seja capaz de penetrar efetivamente na zona de corte. Assim, o bocal deve ser projetado de forma a causar a menor turbulência possível durante a saída do fluido (Webster, Cui, Mindek, 1995).

## 2. OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo analisar outras formas de aplicação de fluidos de corte no processo de retificação, a fim de que se faça melhor uso dessas substâncias tóxicas, sem que para isso os parâmetros do processo sejam afetados. Os métodos analisados foram o convencional, a técnica de mínima quantidade de lubrificação, e um método que utiliza um bocal otimizado. A análise foi feita com base na força tangencial de corte, na rugosidade superficial, no desgaste diametral do rebolo, e na relação  $G$ .

## 3. REVISÃO TEÓRICA

### 3.1. Espessura equivalente de corte ( $h_{eq}$ )

Trata-se de um importante parâmetro, utilizado nesta pesquisa, que permite compreender alguns fenômenos do processo de retificação. A definição de espessura de corte equivalente é dada como a relação entre a taxa de remoção e a velocidade de corte (velocidade periférica do rebolo). Este parâmetro permite quantificar uma condição de trabalho e pode ser definido como a relação entre a taxa de remoção específica do material ( $Q_w'$ ) e a velocidade periférica do rebolo ( $V_s$ ). A espessura de corte equivalente pode ser estabelecida ainda em função dos parâmetros de entrada:  $V_w$  (velocidade periférica da peça) e  $a$  (penetração do rebolo), como se pode verificar na Eq. (1) (Malkin, 1989):

$$h_{eq} = Q_w' / V_s = (a V_w) / V_s \quad (1)$$

Segundo Malkin (1989), a espessura equivalente de corte está diretamente relacionada ao comportamento do processo de retificação em função das variáveis envolvidas tais como força de corte, rugosidade, topografia da ferramenta entre outras.

### 3.2. Força Tangencial de Corte

As forças de corte no processo de retificação são importantes, pois influenciam as qualidades geométrica, dimensional e superficial da peça, a vida do rebolo (desgaste volumétrico) e o tempo de execução do processo de corte. Os valores médios das forças de corte a serem empregados durante a usinagem determinam a potência necessária para a máquina retificadora, assim como suas necessidades estruturais. Há uma relação direta entre o aumento das forças de corte (tangencial e normal) e o aumento da área de desgaste do topo dos grãos. Estas forças podem ser constituídas de componentes como corte e deslizamento, considerando que o desgaste do topo do grão é influenciado pelas condições de dressagem, pela dureza do ligante do rebolo e o tipo de fluido de corte utilizado (Malkin, 1989).

### 3.3. Rugosidade Superficial

A retificação é um processo de acabamento, e a rugosidade da superfície é um dos fatores mais importantes para se obter um componente com qualidade. No entanto, não há um modelo de compreensão do comportamento dessa variável. A dificuldade em se prever tal parâmetro vem do fato de este ser influenciado por muitas variáveis do processo, como as propriedades do material da peça, a composição do rebolo, as condições de dressagem, os parâmetros de operação, a forma de aplicação e o tipo do fluido de corte, vibrações da máquina, entre outros tantos (Ali e Zhang, 1999).

A qualidade da superfície gerada no processo de retificação é capaz de avaliar características da peça e da operação, tais como mínimas tolerâncias, eficácia do método de lubrificação, condições da ferramenta, transmissão de calor e vibração da máquina. Uma superfície típica do processo de retificação é isenta de sinais de corte e ranhuras. No entanto, vários micro-defeitos podem ser constatados fazendo-se uma análise minuciosa da superfície do material usinado. Os principais defeitos verificados são trincas ocasionadas por bruscas variações térmicas e crateras provocadas pelas fraturas dos grãos abrasivos (Hecker e Liang, 2003).

Hecker e Liang (2003) afirmam que um método eficiente de se mensurar a qualidade da superfície produzida é por meio da rugosidade. Rugosidades podem ser definidas como micro-irregularidades geométricas decorrentes do processo de fabricação. A medição é feita em função da distância entre os picos e vales existentes na superfície produzida. Assim, pode-se obter a rugosidade pela média dos valores dessa distância (rugosidade  $R_a$ ), pelo valor quadrático médio dessa distância (rugosidade  $R_q$ ) ou ainda pelo valor máximo da mesma (rugosidade  $R_t$ ).

### 3.4. Desgaste e Relação G

O desgaste do rebolo apresenta-se de modo complexo, devido aos diversos fenômenos que ocorrem entre os grãos abrasivos e a peça durante o processo de retificação. Esse desgaste está relacionado à sua perda diametral (desgaste volumétrico) e à perda da capacidade de corte da face de trabalho. Há três principais mecanismos de desgaste do rebolo: atrito, fratura dos grãos abrasivos e do aglomerante. O desgaste por atrito está relacionado à perda da aresta de corte dos grãos abrasivos, tendo como consequência a ampliação de áreas planas, as quais promovem um aumento do atrito entre o rebolo e a peça, podendo causar danos térmicos à superfície do material usinado. A fratura do grão e do aglomerante está relacionada ao fato de a ferramenta ser submetida a esforços excessivos. A fratura do aglomerante implica num desgaste bastante acentuado do rebolo pelo fato de permitir o desalojamento de grãos inteiros (Malkin, 1989).

O desempenho de um rebolo é associado a um parâmetro denominado relação G, definido como sendo a relação entre o volume de material removido ( $Z_w$ ) e o correspondente volume de rebolo gasto na operação ( $Z_s$ ), ambos em  $\text{mm}^3$ . Assim, segundo Malkin (1989), a relação G pode ser expressa como mostra a Eq. (2):

$$G = Z_w / Z_s \quad (2)$$

Observando a relação, para um mesmo volume de material removido, pode-se concluir que um valor alto de G refere-se a um rebolo de alta capacidade de corte, capaz de remover o volume de material sofrendo pequeno desgaste, enquanto que um valor de G baixo mostra que o rebolo sofre uma perda volumétrica maior para remover a mesma quantidade de material.

### 3.5. Rebolo Superabrasivo de CBN

O nitreto cúbico de boro (CBN) é uma forma cristalina alotrópica do nitreto de boro, e apresenta alto valor de dureza, no entanto menor que a do diamante. Os cristais hexagonais são obtidos a altas temperaturas (1500 - 3000°C) e altas pressões (3 - 6 MPa), na presença de catalisadores. A popularidade deste composto está em sua resistência térmica, maior que a do diamante, permitindo que este composto trabalhe até 1900°C. A boa resistência química do CBN possibilita que este usine materiais de ligas ferrosas, principalmente os de extrema dureza (Marinescu et al., 2004).

As principais propriedades mecânicas são a elevada dureza do material, embora metade da do diamante, é o dobro dos materiais convencionais; e a friabilidade dos grãos, capazes de terem suas arestas de corte renovadas pela quebra dos grãos gastos. Em termos de propriedades químicas, o CBN é estável no nitrogênio e vácuo por no mínimo 1500°C. No ar ou oxigênio, forma-se uma camada passiva de óxido de boro, que impede maior oxidação do material até 1300°C. No entanto, essa camada é solúvel em água, ou vapor a alta temperatura (900°C), o que pode resultar em posterior oxidação dos grãos de CBN. Termicamente, o CBN apresenta-se com condutividade maior que o diamante, o que garante menos calor na interface peça/ferramenta (Marinescu et al., 2004).

### 3.6. Técnica de MQL

A técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL) é também referenciada como um processo quase a seco (Near Dry Grinding - NDG). Neste processo uma mistura de ar-óleo, como um aerosol, é aplicada à zona de contato entre o rebolo e a peça (Tawakoli et al, 2009).

Essa técnica é um elo de ligação entre os métodos de lubri-refrigeração convencionais e a usinagem a seco, podendo trazer benefícios para as indústrias. Nesta tecnologia a função de lubrificação é assegurada pelo óleo e a de refrigeração principalmente pelo ar comprimido. Esta pequena quantidade de fluido pode ser suficiente para reduzir o atrito no corte, minimizando desta forma, a taxa de calor gerado, mantendo a ferramenta dentro de uma faixa de temperaturas que não prejudiquem seu desempenho (Tawakoli, 2003).

### 3.7. Bocal Otimizado

Otimizar o processo de aplicação aumentaria a capacidade de lubrificação e refrigeração dos fluidos, promovendo melhor remoção dos cavacos, e menores dispersões na região de corte. Contudo, para tal é necessário um correto posicionamento dos bocais de aplicação (Ebbrell et al, 2000).

A qualidade da peça e seu custo estão relacionados com a forma de aplicação do fluido de corte na região da interface rebolo-peça. Um jato que incida de forma direta sobre a região de corte é capaz de reduzir de forma significativa a temperatura nessa região. No entanto, para que isso ocorra é necessário que o jato possua altas velocidades, para que seja capaz de penetrar efetivamente na zona de corte. Assim, o bocal deve ser projetado de forma a causar a menor turbulência possível durante a saída do fluido. Um modelo desse bocal otimizado é mostrado na Fig. 1. Esse projeto busca minimizar a turbulência da saída do fluido, e sobrepor a barreira de ar que envolve o rebolo em movimento (Webster, Cui, Mindek, 1995).

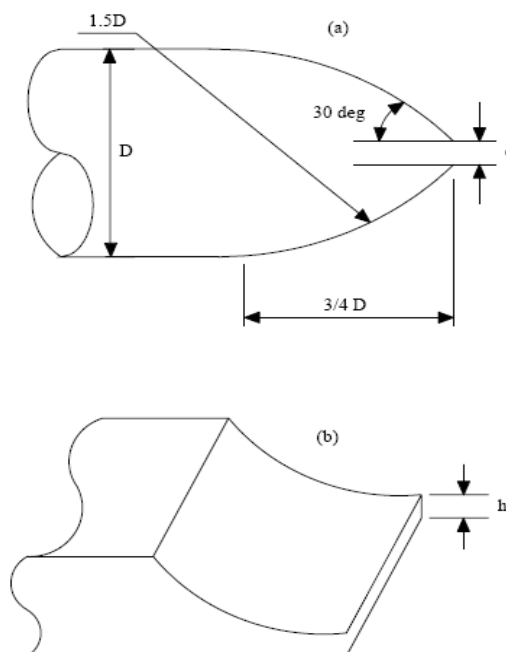


Figura 1. - a) Modelo otimizado; (b) Modelo tradicional de bocal (Webster, Cui, Mindek, 1995)

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O banco de ensaios é composto por uma retificadora tangencial plana da marca SULMECÂNICA, modelo 1055E; um rebolo vitrificado superabrasivo de CBN da empresa Nikkon Ferramentas de Corte Ltda, cujas dimensões são: diâmetro externo de 350 mm, diâmetro interno de 127 mm, largura de 20 mm, com 5 mm de espessura de material abrasivo; corpos-de-prova de aço ABNT 4340, temperado e revenido (dureza média de 54 HRC).

A força tangencial de corte foi medida pela determinação da potência elétrica consumida pelo motor de acionamento do eixo árvore do rebolo, com o monitoramento dos valores de tensão e corrente elétrica, provenientes deste motor elétrico.

Para tal, um módulo eletrônico é utilizado para transformação dos valores de corrente elétrica e tensão (provenientes do motor) em sinais de tensões compatíveis para serem enviados a uma placa de aquisição de dados e manipulados pelo programa de aquisição de dados, que foi desenvolvido, utilizando-se o software LabView 7.1®, da National Instruments®.

O fluido de corte utilizado para o método convencional e para o método otimizado foi um óleo solúvel semi-sintético. Este fluido foi diluído na proporção de 1:20, isto é, fez-se a diluição de uma parte deste fluido em 20 partes de água, o que equivale a uma concentração de 5% de fluido na emulsão, conforme indicado pelo fabricante. No método convencional, esse fluido é aplicado abundantemente na interface de contato peça/ferramenta. No método otimizado utiliza-se uma bomba propulsora para que o fluido de corte seja aplicado à mesma velocidade que a velocidade periférica do rebolo. Esse método utiliza também um bocal conforme mostrado na Fig. (1a), diferente do bocal utilizado para o método convencional (Fig.(1b)).

O sistema de MQL é composto basicamente por: compressor, regulador de pressão, medidor de vazão de ar, dosador e bocal. O equipamento de mínima quantidade de lubrificação permite uma fina regulagem do volume de lubrificante/ar separadamente, por meio de um registro tipo agulha. Nesta pesquisa, utilizou-se o aparelho da Accu-Lube, modelo 79053D. O fluido de corte utilizado foi o Accu-Lube LB 100, um óleo vegetal biodegradável com aditivos de extrema pressão, para operações severas, e antioxidantes.

Preparado o banco de ensaios, realizaram-se ensaios preliminares, com o objetivo de se definir os parâmetros de usinagem. Mantendo-se a velocidade da peça, e a velocidade periférica do rebolo constantes, variou-se a profundidade de corte, o que acarretou em diferentes espessuras de corte equivalente. A Tab. (1) mostra os parâmetros de usinagem adotados.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem adotados.

$h_{eq}$ (espessura equivalente de corte – mm)	$a$ (profundidade de corte – $\mu m$ )	$V_w$ (velocidade da peça – m/s)	$V_s$ (velocidade periférica do rebolo – m/s)
0,02	20	0,033	32
0,05	50	0,033	32
0,08	80	0,033	32

O critério de parada foi o volume específico de material removido, adotado em  $5000 \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Como há três diferentes espessuras de corte equivalente, o intervalo para se obter o volume específico estipulado é diferente para cada situação.

A medição de rugosidade foi feita medindo-se o parâmetro  $R_a$ , com um rugosímetro da marca Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+, a cada  $1000 \text{ mm}^3/\text{mm}$  de material removido.

Para cada espessura equivalente de corte foram testados três métodos diferentes de lubri-refrigeração: o convencional, a técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL), e método que utiliza um bocal otimizado. Para cada método, a repetibilidade foi de três experimentações. Assim, foram realizados 27 ensaios no total.

Ao final do ensaio, efetuava-se a medição do desgaste do rebolo. Esse procedimento foi feito utilizando um corpo-de-prova de aço ABNT 1045. O desgaste impresso nos corpos foi medido em uma máquina de coordenadas da empresa TESA, modelo Micro-Hite 3D Direct Computer Control (DCC).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Força Tangencial de Corte

Com os dados obtidos gerou-se a Figura 2. Pode-se observar que o MQL gera menor força a baixas profundidades de corte ( $0,02$  e  $0,05 \text{ mm}$ ), devido à maior facilidade de penetração do lubrificante na região de corte, facilitando a remoção de material. O método convencional apresenta os maiores valores, pois a aplicação abundante de fluido sofre grande dispersão, dificultando o acesso à zona de corte. O método otimizado apresenta bons resultados, mostrando-se eficiente em romper a barreira de ar ao redor do rebolo e atingir a interface peça/ferramenta.

Em uma condição mais severa (profundidade de corte  $0,08 \text{ mm}$ ), a técnica de MQL gera altas forças de corte, o que mostra que não é capaz de retirar o excessivo calor gerado. Nessa situação, o método otimizado apresenta os menores valores, mantendo sua condição constante.

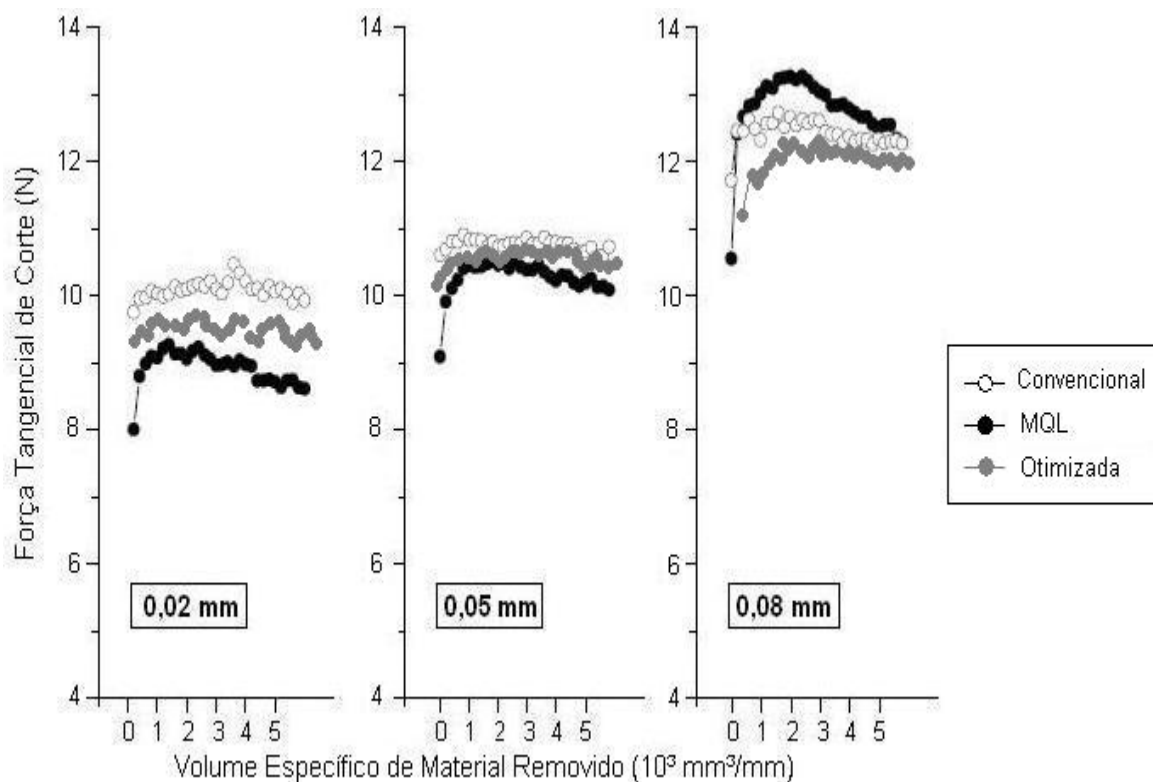


Figura 2. Dados de força tangencial de corte.

Através da força tangencial de corte pode-se analisar o desempenho das ferramentas abrasivas e detectar várias irregularidades, como a ocorrência do macro e microdesgaste, a capacidade de fixação dos grãos pelo ligante, o aumento da temperatura na região de corte, e o estado de tensão residual.

## 5.2. Rugosidade

A importância da análise desta variável deve-se ao fato de que o acabamento superficial afeta de forma significativa a resistência à fadiga das peças quando estas são submetidas a esforços. A rugosidade de uma peça ainda está diretamente ligada à lubrificação e depende principalmente do tamanho do grão abrasivo presente no rebolo, das condições de dressagem, e da taxa de remoção de material (Malkin, 1989).

A Figura (3) mostra os valores médios do parâmetro Ra obtidos. Verifica-se que o MQL apresenta valores mais altos que os outros dois métodos. Embora essa técnica tenha gerado menor força tangencial de corte (profundidade de corte 0,02 e 0,05mm), apresenta altos valores de rugosidade superficial. O cavaco gerado combinado com o óleo lubrificante forma uma espécie de borra que se aloja nos poros do rebolo, permitindo que a lubrificação seja eficiente, mas degradando a superfície. Na condição de profundidade de corte maior (0,08mm) a técnica de MQL é totalmente desqualificada por seu acabamento precário.

O método otimizado e o convencional apresentam resultados muito próximos, devido à facilidade de remoção de cavacos da zona de corte, evitando riscos e danos à superfície do material.

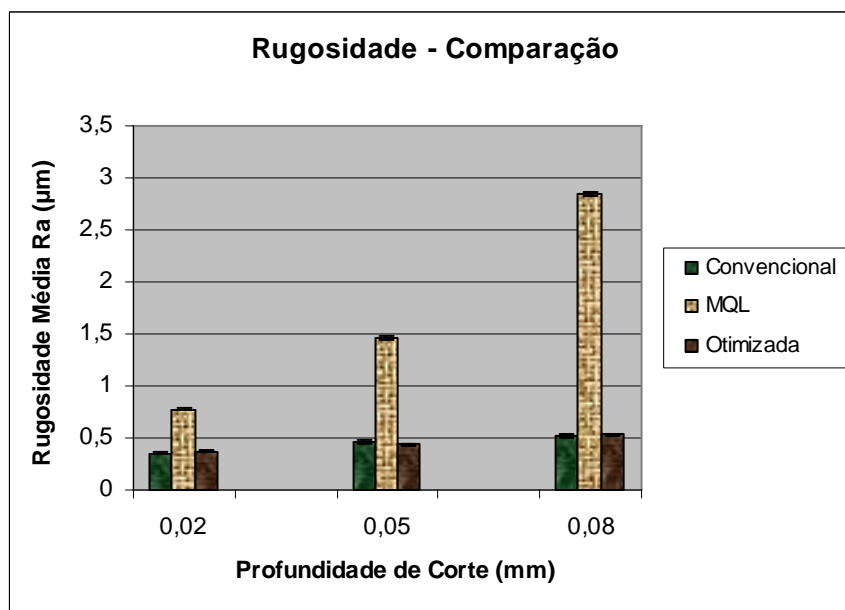
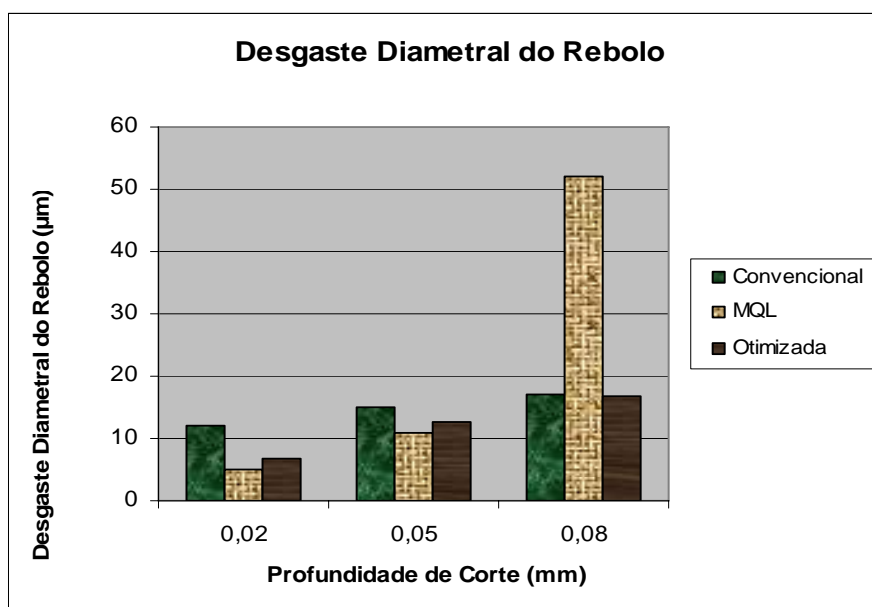


Figura 3. Valores de rugosidade superficial

## 5.3. Desgaste Diametral e Relação G

A Figura (4) apresenta o desgaste diametral do rebolo para cada profundidade de corte e para os três tipos de lubri-refrigeração considerados.





**Figura 4. Desgaste Diametral do rebolo.**

O desgaste diametral do rebolo na técnica de MQL foi menor nas profundidades de corte de 0,02 e 0,05mm, e maior para 0,08mm.

Quanto maior a penetração do fluido lubri-refrigerante na zona de corte, menor o desgaste por atrito entre a ferramenta e o cavaco, e melhor a remoção do calor gerado. Deve-se levar em consideração também a porosidade do rebolo, pois esta é responsável pelo alojamento do cavaco gerado, possibilitando assim melhor acesso do fluido à zona de corte, com conseqüente melhora na lubrificação, diminuindo o desgaste por atrito.

O rebolo utilizado é um rebolo de CBN com ligante vitrificado. Este tipo de ligante é menos suscetível ao desgaste erosivo da ação do cavaco arrancado sobre o ligante, proporcionando uma maior força de retenção do ligante sobre o grão abrasivo e, conseqüentemente, diminuindo a perda diametral do rebolo. Esse é um dos motivos pelo qual o ligante vitrificado tem tido grande aceitação na produção industrial (Kopac e Krajnik, 2006).

No MQL a baixas profundidades de corte, partes do cavaco misturado ao óleo pulverizado alojam-se nos poros do rebolo, permitindo que uma porção do lubrificante atinja melhor a zona de corte, diminuindo o desgaste por atrito, permitindo também que o fluxo de ar remova parte do calor gerado, melhorando a refrigeração do local. Mesmo que esta condição de alojamento gere na superfície usinada maior rugosidade, ela é responsável por contribuir com a diminuição do desgaste da ferramenta.

Quando o cavaco gerado fica maior, como quando se aumenta a profundidade de corte, os poros não são capazes de alojar esse cavaco maior, e o fluxo de ar é ineficiente em removê-lo da zona de corte. O cavaco atrapalha o corte e aumenta os esforços abrasivos da ferramenta sobre a peça, diminuindo a capacidade de lubrificação da zona de corte, danificando a superfície, e acarretando maior desgaste diametral do rebolo.

No método otimizado, o fato de o fluido ser aplicado com uma velocidade semelhante à periférica do rebolo faz com que o cavaco seja mais facilmente removido, atingindo a zona de corte e proporcionando melhor remoção de calor e lubrificação nesta região. Esse método que apresentou rugosidade muito semelhante ao convencional destaca-se ao mostrar resultados de desgaste diametral do rebolo menores. Isso se deve possivelmente à melhor remoção de cavaco que o jato de fluido possibilita, em comparação com o fluxo abundante do método convencional. Embora em termos de rugosidade os métodos convencional e otimizado sejam praticamente semelhantes, este último desgasta menos a ferramenta de corte.

A Figura (5) compara a relação G para os métodos de lubri-refrigeração analisados. O MQL apresenta um alto valor da relação G, o que demonstra uma alta produtividade nestas condições (profundidade de corte 0,02mm). Em condição mais severa (0,08mm) a ineficiência do MQL fica visível pela relação G muito baixa, o que mostra alto desgaste da ferramenta de corte.

O método otimizado destaca-se então em relação ao método convencional, comprovando que a aplicação de fluido sob a forma de jato, e a utilização de um bocal melhor desenhado podem melhorar o processo de aplicação e os parâmetros de usinagem.

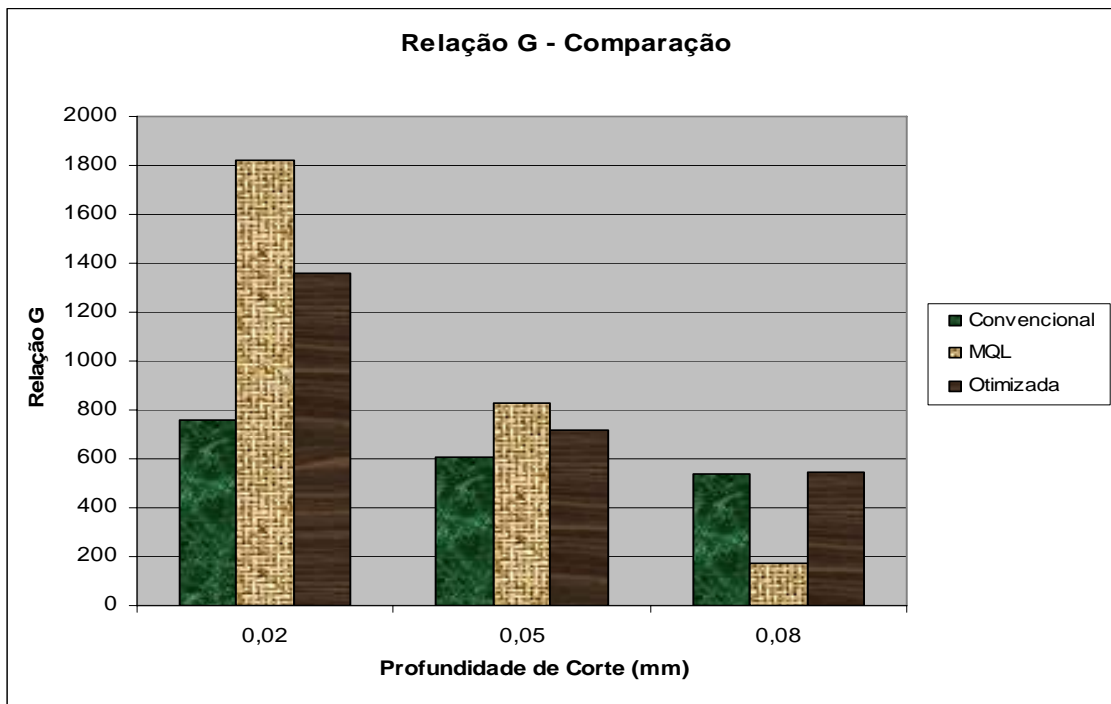


Figura 5. Comparação da relação G entre os métodos de lubri-refrigeração analisados.

#### 5.4. Limpeza do Rebolo

A técnica de MQL apresenta-se como uma alternativa viável de aplicação de fluido de corte a baixas profundidades de corte, podendo até aumentar a vida útil da ferramenta. O entrave reside nos altos valores de rugosidade.

Com o objetivo de verificar a possibilidade de diminuição destes valores, experimentos foram feitos com um bocal de ar comprimido, em três diferentes posições, a fim de fazer a limpeza de sua superfície. Adotou-se a profundidade de corte de 0,02mm, por ser esta a melhor condição verificada para o MQL. Acoplou-se um bocal de ar comprimido na flange do rebolo, apontando para este. Variou-se a posição deste bocal em três diferentes condições: tangente à superfície do rebolo, em direção ao centro (denominada ângulo normal) e uma intermediária às duas anteriores. A remoção da borra gerada pode diminuir a rugosidade superficial, conforme verificado pela Fig. (6). No entanto, ainda é necessário um maior aprofundamento neste campo da pesquisa, a fim de constatar a sua real eficiência.

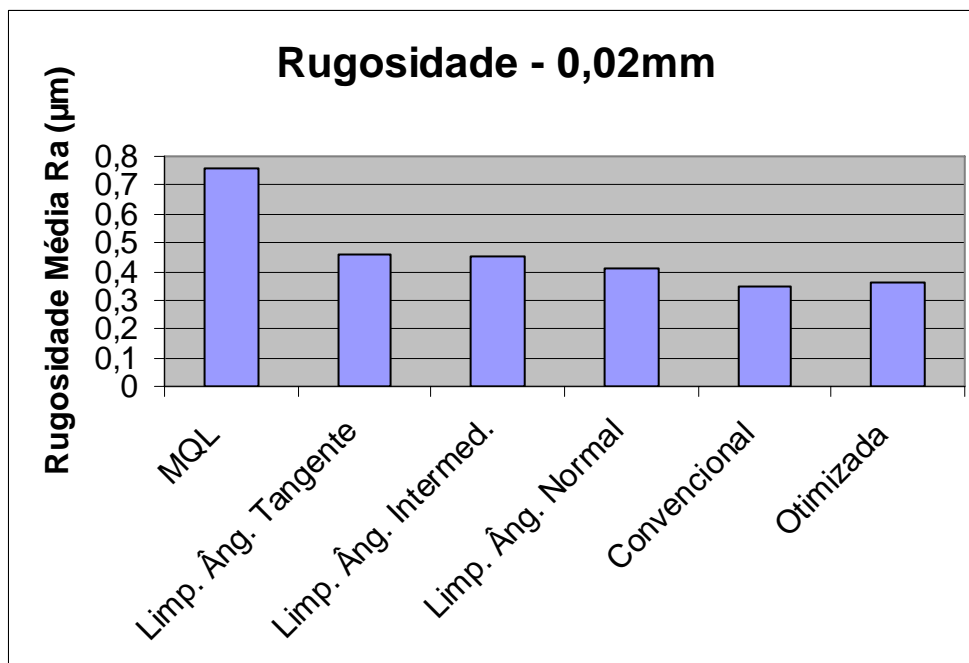


Figura 6. Efeitos da limpeza da superfície do rebolo na rugosidade superficial.



## 6. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos experimentalmente na análise de três diferentes métodos de lubri-refrigeração, o convencional, o de mínima quantidade de lubrificação (MQL), e o método otimizado, o qual utiliza um bocal arredondado, pode-se concluir para a retificação plana de aço ABNT 4340 temperado e revenido, que o método de MQL é uma alternativa viável quando utilizado para pequenas profundidades de corte, e que o método otimizado é mais eficaz que o método convencional.

O MQL é uma alternativa considerável, pois embora apresente um acabamento superficial pior que os outros métodos, a vida útil da ferramenta de corte é melhor. Além disso, o problema do acabamento superficial pode ser resolvido com o sistema de limpeza por ar comprimido.

O método otimizado permite obter maior vida útil da ferramenta, mostrando que a aplicação de fluidos de corte pode ser mais eficaz, utilizando um bocal melhor projetado e uma bomba de maior potência.

Assim, os resultados obtidos podem contribuir para as indústrias diminuírem o uso de fluidos de corte, conseqüentemente reduzindo o impacto ambiental de seu descarte, e visando a melhoria na qualidade de trabalho dos operadores.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo) pelo suporte financeiro e apoio à iniciativa de pesquisa.

## 8. REFERÊNCIAS

- Ali, Y.M. and Zhang, L.C., 1999, "Surface roughness prediction of ground components using a fuzzy logic approach", *Journal of Materials Processing Technology*, No 89–90, pp. 561–568.
- Ebbrell, S., Woolley, N.H., Tridimas, Y.D., Allanson, D.R. and Rowe, W.B., 2000, "The effects of cutting fluid application methods on the grinding process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, pp. 209-223.
- Hecker, R. L.; LIANG S. Y., 2003, "Predictive modeling of surface roughness in grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 755–761.
- Irani, R.A., Bauer, R.J. and Warkentin, A., 2005, "A review of cutting fluid application in the grinding process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45, pp.1696–1705.
- Klocke, F. and Eisenblätter, G., 1997, "Dry Cutting", *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No.2, pp. 519-526.
- Kopac J. and Krajnik, P., 2006, "High-performance grinding – A Review", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 175, pp. 278-284.
- Malkin, S., 1989, "Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives", Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 275 p.
- Marinescu, I. D.; Rowe, W.B.; Dimitrov, B.; Inasaki, I., 2004, "Tribology of abrasive machining processes", Norwich, William Andrew Inc, 1 ed.
- Nguyen, T. and Zhang, L.C., 2003, "An assessment of the applicability of cold air and oil mist in surface grinding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, No 1-3, pp. 224-230.
- Stanford, M. and Lister, P.M., 2002, "Future role of metalworking fluids", *Industrial Lubrication Tribology*, Vol. 54, No.1, pp. 11-19.
- Tawakoli, T., Hadad, M.J., Sadeghi, M.H., Daneshi, A., Stöckertand, S. and Rasifard, A., 2009, "An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 49, pp 924-932.
- Tawakoli, T., Westkämper, E., Rabiey, M. and Rasifard, A., 2007, "Influence of the type of coolant lubricant in grinding with CBN tools", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No.47, pp734-739.
- Tawakoli, T., 2003, "Minimum coolant lubrication in grinding", *Industrial Diamond Review*, No 1, pp. 60-65.
- Webster, J.A., Cui, C. and Mindek Jr, R.B., 1995, "Grinding Fluid Application System Design", *CIRP Annals*, Vol. 44, No. 1, pp. 333-338.

## 9. DIREITOS AUTORAIS

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

## ANALYSIS OF METHODS OF CUTTING FLUIDS APPLICATION IN TANGENTIAL GRINDING OF STEEL

Rodrigo Santana Destro, rod\_destro@hotmail.com<sup>1</sup>

Ricardo Fernando Damasceno, damasceno\_ricardo@hotmail.com<sup>1</sup>

Marcos Hiroshi Oikawa, ra611328@feb.unesp.br<sup>1</sup>

Rogério Melo e Sousa, ra611352@feb.unesp.br<sup>1</sup>

Canarin, Rubens Chinali, ra611701@feb.unesp.br<sup>1</sup>

Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br<sup>2</sup>

Manoel Cléber Sampaio Alves, manoel@itapeva.unesp.br<sup>3</sup>

Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Bauru. Faculdade de Engenharia de Bauru. Departamento de Engenharia Elétrica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, CxPostal 473, CEP 17033-360, Bauru, SP, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP - *Campus* de Itapeva. Faculdade de Engenharia Industrial Madeireira. Rua Geraldo Alckmin, 519 18409-010 - Itapeva - SP, Brasil.

**Abstract:** *The main tasks of cutting fluids in grinding process are: lubrication and refrigeration of the cutting zone, flushing away chips, cleaning wheel surface and minimizing machine and components corrosion. Nevertheless, cutting fluids usage can harm operators healthy and environment. Due to this, it is necessary to optimize the use of these substances in industrial ambient. This research had as main purposes the analysis of different alternatives to the use of cutting fluids. The analysed methods were the conventional, the minimum quantity of lubrication (MQL), and one that uses an optimized nozzle. It has been shown that the special designed nozzle allowed a better cleaning of the grinding wheel surface, and thus a higher tool life. The MQL technique is a viable alternative when considered low depths of cut. It is also possible to obtain a better surface quality if applied a flux of compressed air in order to clean wheel surface.*

**Keywords:** *grinding, cutting fluids, MQL, optimization, CBN.*

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.