



DESENVOLVIMENTO DE UMA NOVA FORMA DE LUBRI-REFRIGERAÇÃO NA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA DE Mergulho de Aços Endurecidos para uma Produção Mais Limpa.

Eduardo Carlos Bianchi ¹

Paulo Roberto Aguiar ²

Anselmo Eduardo Diniz ³

Luiz Gustavo Guermandi ⁴

Danilo de Jesus Oliveira ⁵

Matheus Gonçalves Pereira ⁶

RESUMO: Tornam-se notáveis, nos dias atuais, as pesquisas na área de usinagem dos materiais no que diz respeito à substituição das tradicionais formas de lubri-refrigeração com fluidos de corte em abundância por novas técnicas que reduzam o uso de tais fluidos. Essa ideia vem atrelada aos ideais de respeito ambiental e preservação da saúde humana que são prejudicados quando se faz uso dos fluidos de corte, devido à composição química característica dos mesmos. A contaminação do solo, água e ar podem

¹ Engenheiro Mecânico, UNESP, Professor Titular. bianchi@feb.unesp.br

² Engenheiro Eletricista, UNESP, Professor Adjunto. aguiarpr@feb.unesp.br

³ Engenheiro Mecânico, UNICAMP, Professor Titular. anselmo@unicamp.br

⁴ Aluno de Engenharia Mecânica, UNESP, Bolsista FAPESP. luiz_guermandi@hotmail.com

⁵ Aluno de mestrado em materiais, UNESP, POSMAT. daniloliv@gmail.com

⁶ Aluno de Engenharia Mecânica, UNESP, Bolsista FAPESP. m_pereira_2@hotmail.com

decorrer de vazamentos, emissões de névoas e descarte incorreto sem respeitar a legislação ambiental. Além disso, os fluidos de corte devido aos seus componentes como bactericidas e fungicidas podem causar problemas respiratório, alergias e problemas na pele. Em função disso esse trabalho apresenta uma técnica moderna para substituição dos tradicionais fluidos de corte, o que garantirá a qualidade tecnológica e de acabamento do produto com maior respeito ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores.

Palavras-chave: Preocupação ambiental. Uso do fluido de corte. Retificação.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Pawlak et al (2004), os fluidos de corte são aplicados na usinagem dos materiais com o propósito de reduzir, através da lubrificação, as características dos processos tribológicos que estão sempre presentes na superfície de contato entre a peça e a ferramenta e também reduzir o calor na região de corte através da refrigeração.

Uma vez usado, o fluido de corte contém pequenas partículas de materiais, como pedaços do rebolo, cavacos e outras impurezas. Em função disso, depois de certo tempo, por causa da contaminação todo fluido deve ser trocado e descartado. Entretanto, esse descarte feito de forma indevida é prejudicial ao meio ambiente.

Em função disso, Dhar et al (2007) afirma que, apesar das vantagens tecnológicas que os fluidos de corte promovem, ultimamente vêm sendo questionados os efeitos negativos que eles causam, ou seja, além das agressões ambientais, também problemas relacionados à saúde do trabalhador. Dessa forma, Sokovi & Mijanovic (2001) relataram que as empresas estão sendo forçadas a implementar estratégias de refrigeração menos nocivas no processo de usinagem. Assim, Tawakoli et al (2007) mostra que uma das estratégias para promover diminuição do uso de fluidos de corte é otimizar o fluxo de fluido, situação que ocorre com o uso da mínima quantidade de lubrificante (MQL).

Segundo Novaski & Dörr (1999), a utilização de uma quantidade cada vez menor de fluido na região de corte tem representado grande importância no cotidiano, desde que não ocorra o comprometimento da usinagem. A mínima quantidade de lubrificação, MQL, tem ganhado grande importância nesse aspecto, pois utiliza uma mistura de óleo com ar comprimido pulverizados na região de corte, o que reduz a abundância de fluido.

Apesar disso, Socovic & Mijanovic (2001) dizem que, para buscar alternativas e melhorias para os processos atuais de produção, é necessário substituir os métodos

tradicionais para que se possam obter condições de fabricação associadas ao menor impacto ambiental e que estejam tecnológica e economicamente coerentes. O MQL apesar de respeitar o zelo ambiental, humano e ser mais economicamente viável, não apresenta os mesmos resultados técnicos que os fluidos de corte. Isso ocorre, pois como há a mínima quantidade de lubrificante ao invés da abundância, os cavacos não são retirados da zona de corte e se misturam ao óleo pulverizado formando uma pasta (“borra”) que adere à superfície de corte do rebolo e entope seus poros. Com isso, em situações mais severas de usinagem, os resultados principalmente de rugosidade e desgaste diametral do rebolo são piores que os conseguidos pelos fluidos de corte.

Tal dificuldade associada ao uso da mínima quantidade de lubrificante está alicerçada no trabalho de Sahm & Schneider (1996), pois quando são usadas ferramentas abrasivas com uma redução no uso de fluidos de corte, fica dificultada a limpeza dos cavacos na zona de corte e conseqüentemente ocorre um aumento no entupimento dos poros do rebolo, comprometendo a qualidade final da peça.

Entretanto, conforme o trabalho realizado por Lee et al (2002) na retificação de canais em peças, a utilização de um jato de ar comprimido é uma alternativa para reduzir o fenômeno do entupimento, pois o ar incide no rebolo e retira grande parte das impurezas que aderiram à ferramenta.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa tecnológica para substituir os fluidos de corte em abundância, no processo de retificação de aço endurecido, pela técnica do MQL com limpeza por meio do jato de ar comprimido, já que o MQL sem limpeza, por si só, respeita o zelo ambiental, mas falha na qualidade final do produto. Adicionando o sistema de limpeza ao MQL conseguir-se-á, além do respeito ao meio ambiente, maior qualidade final do produto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em uma retificadora cilíndrica SULMECÂNICA, modelo RUAP 515H, equipada por um comando numérico.

O rebolo utilizado foi de CBN com ligante vitrificado e dimensões 350 mm de diâmetro externo, 127 mm de diâmetro interno, 20 mm de largura e 5 mm de espessura

de material abrasivo, cujo código é SNB151Q12VR2, da empresa Nikkon Ferramentas de Corte LTDA.

Os corpos de prova consistem em anéis de aço ABNT 4340, temperado e revenido (54 HRc de dureza média), com diâmetro externo de 54 mm, diâmetro interno de 30 mm e espessura de 4 mm.

O fluido de corte utilizado no método convencional de refrigeração foi óleo solúvel semi-sintético QUIMATIC ME-I, com concentração de 2,5%, sendo este aplicado a uma vazão de $2,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Neste fluido de corte há, na sua composição, anticorrosivos, biocidas, fungicidas, alcalinizantes, antiespumantes, tensocitivos não iônicos, alcanolomidas, entre outros.

O equipamento de MQL é composto por: compressor, regulador de pressão, medidor de vazão de ar e bocal. Nesse experimento, a vazão do ar possuía uma pressão de $6,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e a vazão do fluido de corte $2,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$. O aplicador utilizado nesta pesquisa foi o ITW Accu-lube 79053D de micro-lubrificação, fornecido pela empresa ITW Chemical Products Ltda. Esse equipamento usa um sistema pulsante de fornecimento do óleo e permite a regulação da vazão de ar comprimido e lubrificante de maneiras separadas. A vazão de ar comprimido era monitorada com auxílio de um medidor de vazão do tipo turbina modelo SVTG12/12BA4A44BS fornecido pela empresa CONTECH e calibrado a uma pressão de $8,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

O sistema para limpeza do rebolo é composto por: compressor, medidor de vazão e pressão de ar comprimido, distribuidor de fluxo e bocais. A vazão do ar foi $8,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ e a pressão para cada bocal foi $7,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. O aparelho utilizado na medição da vazão do ar comprimido era um aparelho Siemens SITRANS - P, fornecido pela empresa Digitrol.

Para cada ensaio foram utilizados 3 corpos de prova. Foram feitos ensaios de três repetições, com diferentes técnicas de lubri-refrigeração: a refrigeração convencional (fluido em abundância), MQL sem limpeza e MQL mais limpeza para quatro ângulos distintos de incidência do jato de ar comprimido na superfície de corte do rebolo. Com referência ao trabalho de Cameron & Warkentin (2009), foram definidos quatro ângulos de incidência: perpendicular, tangencial, 30 graus e 60 graus em relação ao perpendicular, como na Figura 1. O trabalho destes autores investigou a limpeza da superfície do rebolo com fluido de corte.

O bocal de limpeza foi fixado a uma distância de 0,5 mm da superfície de corte do rebolo.

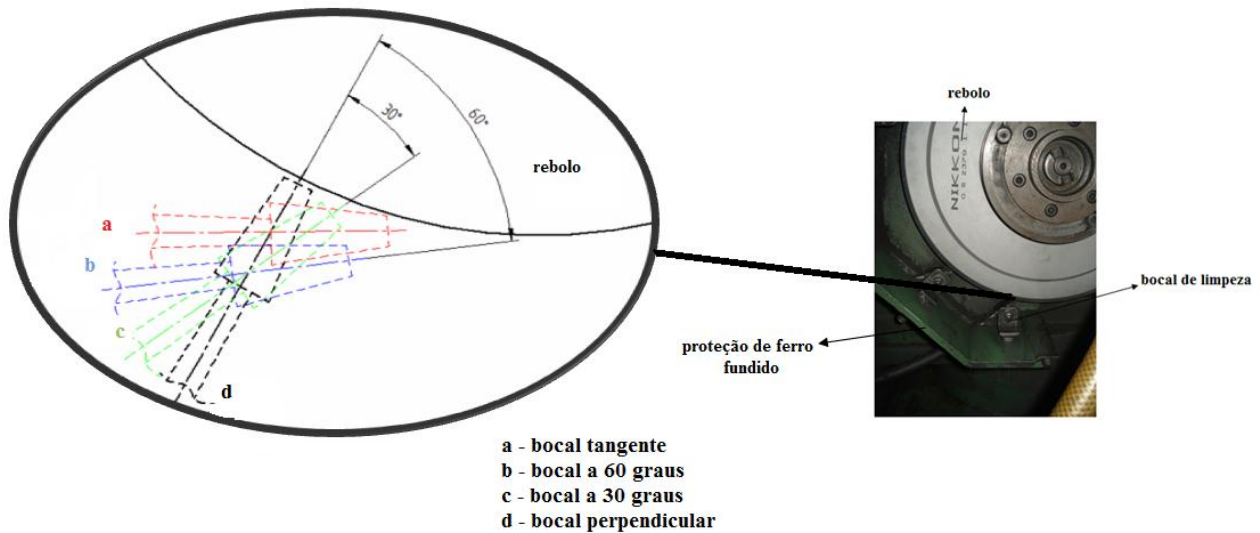


Figura 1. Desenho esquemático das orientações do bocal de limpeza.

A medição da rugosidade foi realizada no parâmetro R_a por meio de um rugosímetro da Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+. Os valores de rugosidade apresentados nos resultados são médias de 5 leituras em posições diferentes, para cada um dos 3 corpos de prova usados para cada condição de lubri-refrigeração.

A medição do desgaste do rebolo foi feita usando um corpo de prova cilíndrico de aço ABNT 1020 para impressão do rebolo. Essa medição foi possível devido a não utilização da largura total do rebolo, onde a largura do rebolo utilizável era de 15 mm e a largura da peça 4 mm. Desta forma o ressalto produzido no rebolo após o ensaio possibilitou a marcação do desgaste no corpo de prova cilíndrico. A obtenção do desgaste diametral foi feita por meio de um programa, do rugosímetro Surtronic 3+, de projeção e medição de perfil. Foram feitas cinco medições em cada peça de cada ensaio.

As medições de circularidade foram obtidas para todos os ensaios, sendo feitas 5 medições em cada corpo de prova. A medição do desvio de circularidade foi realizada em uma máquina específica para controle de tolerâncias geométricas Tayrond 31c, marca Taylor Hobson.

Para os ensaios foram estabelecidas as seguintes condições de usinagem: velocidades de mergulho ou avanço (v_f) de 0,5 mm/min, velocidade de corte (v_s) de 30 m/s, tempo de centelhamento (t_s) igual a 8 segundos, largura de retificação de 4 mm, profundidade de dressagem (a_d) de 0,02 mm, onde a condição de dressagem foi mantida constante, usando um dressador multigranular, tipo fliese.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados de rugosidade, desgaste diametral do rebolo e circularidade para cada técnica de lubri-refrigeração utilizada. Para análise, construíram-se gráficos, os quais foram inseridos juntamente com os valores médios reais das três repetições executadas. Nos gráficos de barras são comparadas as diversas condições de lubri-refrigeração; a convencional e o MQL sem e com a limpeza com os respectivos ângulos de inclinação do bocal de limpeza. Assim a condição de referência será a refrigeração convencional, muito utilizada na indústria, e com a qual os outros resultados são comparados.

3.1 RUGOSIDADE

A Figura 2 apresenta um gráfico com os resultados obtidos para a rugosidade média R_a , referente à comparação entre as condições de lubri-refrigeração convencional e as condições utilizando a técnica do MQL. Os valores de rugosidade apresentados são médias de 5 medições de rugosidade em posições diferentes nos corpos de prova, para cada condição de lubri-refrigeração.

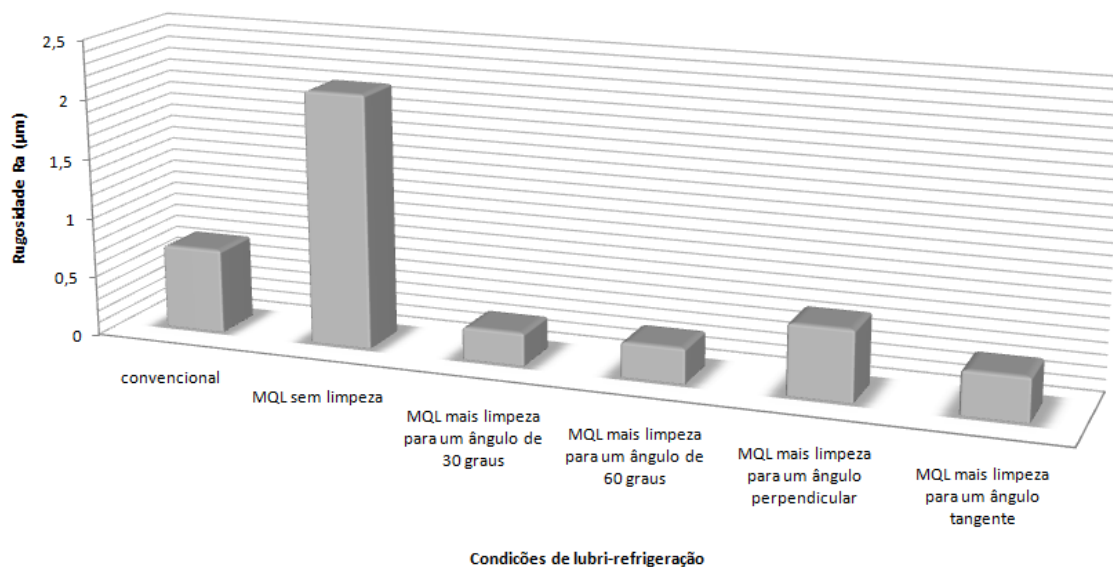


Figura 2. Resultados de rugosidade para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Por meio de uma análise geral dos resultados de rugosidade, a maioria dos valores está abaixo de $1,6 \mu\text{m}$, valor máximo para uma peça retificada (Diniz et al, 2001) .

Assim, analisando-se estes resultados, verifica-se que todas as condições de limpeza foram satisfatórias, pois os valores obtidos de rugosidade média ficaram abaixo do obtido até mesmo com a condição convencional e muito abaixo daquele obtido com o MQL sem limpeza. Além disso, a condição de limpeza com a incidência perpendicular do jato de ar comprimido se igualou ao convencional, praticamente.

De uma forma geral, a condição MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus foi a melhor condição, pois apresentou a menor rugosidade, muito abaixo do valor obtido com a condição convencional.

Com relação à eficiência do sistema de limpeza por meio do ar comprimido, essa é uma função da velocidade periférica do rebolo e do ângulo de incidência do ar, já que a pressão e vazão do sistema foram mantidas constantes. Isso ocorre, pois o fenômeno da limpeza se dá pela soma vetorial dessas componentes de velocidades, a periférica do rebolo e a do ar comprimido, sendo esta última depende do ângulo de incidência. Assim, quanto mais eficiente essa combinação de velocidades, será gerada uma resultante que transferirá uma maior quantidade de movimento à “borra”, promovendo sua maior eliminação. Assim, de forma geral, o MQL com limpeza para uma inclinação de 30 graus foi a melhor combinação de velocidades.

Ainda pela análise da Figura 2, apesar de a condição convencional ter um maior fluxo de fluido e eliminar os cavacos da zona de corte mais eficientemente em comparação ao MQL sem limpeza, como se descreve na literatura, a utilização da limpeza em todas as velocidades de mergulho fez com que a rugosidade se tornasse próxima ou menor à rugosidade obtida com a técnica convencional. Com isso, pode-se afirmar que mesmo na convencional, os cavacos ainda acabam se alojando nos poros do rebolo, o que é natural do processo de retificação, mas na limpeza esta proporção de cavacos nos poros ficou ainda menor, pois o ar do sistema de limpeza age diretamente, como único e exclusivamente na eliminação da “borra” de óleo da superfície de corte do rebolo e conseqüentemente os cavacos aderidos nos poros, que evitam riscar a superfície da peça sendo usinada, melhorando, assim, sua rugosidade.

3.2 DESGASTE DIAMETRAL DO REBOLO

A Figura 3 mostra os resultados obtidos para o desgaste diametral do rebolo. Nesta são comparadas as diversas condições de lubri-refrigeração também, ou seja, a convencional e o MQL mais a limpeza com os respectivos ângulos de inclinação do bocal de limpeza. Assim, a condição de referência também será a refrigeração convencional, com a qual os outros resultados são comparados.

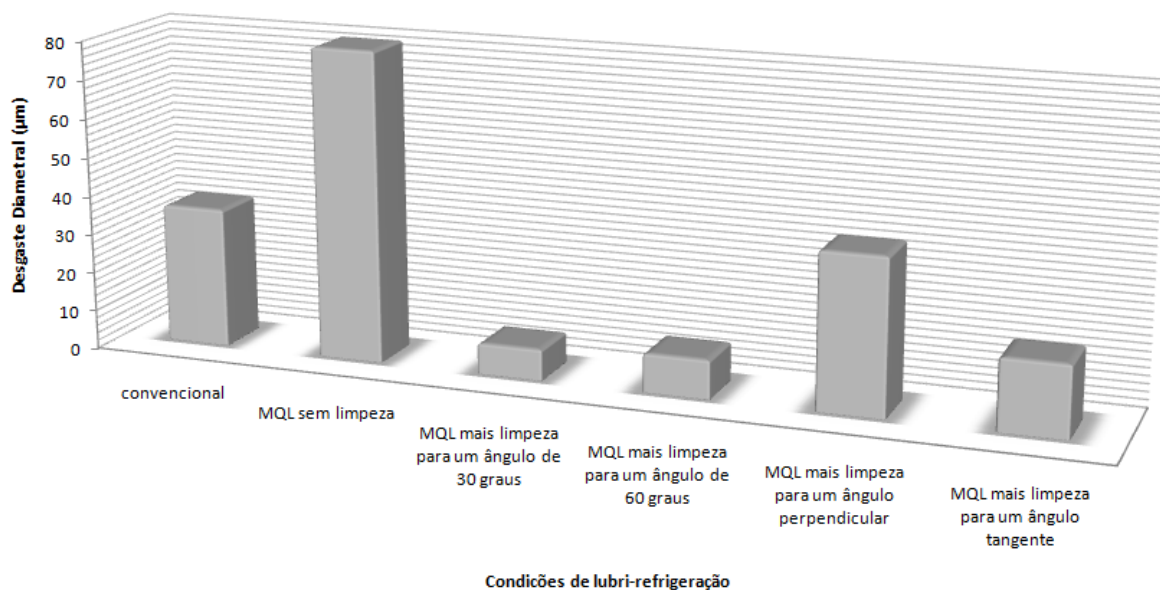


Figura 3. Resultados de desgaste diametral do rebolo para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Para o caso do desgaste diametral do rebolo, observa-se que este está também em função da velocidade periférica da ferramenta abrasiva e velocidade do ar comprimido, assim como a rugosidade.

Pela análise desses resultados, o menor desgaste foi para a condição MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus, seguida da condição a 60 graus. Entretanto, a condição tangente também ficou abaixo do valor obtido com a condição convencional. De uma forma geral, o melhor resultado, assim como para a rugosidade foi para a condição MQL com limpeza para um ângulo de 30 graus. Já para a limpeza com o ângulo de incidência perpendicular, obteve-se um resultado ligeiramente maior que o obtido pelo convencional.

Nota-se, além do mais, uma coerência entre o desgaste diametral e a rugosidade, ou seja, quando a rugosidade fica maior o desgaste também é maior e quando esta se torna menor, o desgaste também diminui.

Relacionando a condição mais eficiente de limpeza com a convencional o desgaste diametral foi reduzido em grande escala, pois neste caso, assim como na rugosidade, têm-se as melhores somas vetoriais de velocidades do ar e periférica do rebolo, o que resultará na melhor expulsão da borra de óleo da superfície de corte do rebolo, influenciando, assim, em menor esforço e menor solicitação térmica do ligante, já que os poros estão mais limpos e, com isso, não há desgaste por desprendimento do grão.

3.3 CIRCULARIDADE

Os resultados de circularidade são mostrados na Figura 4.

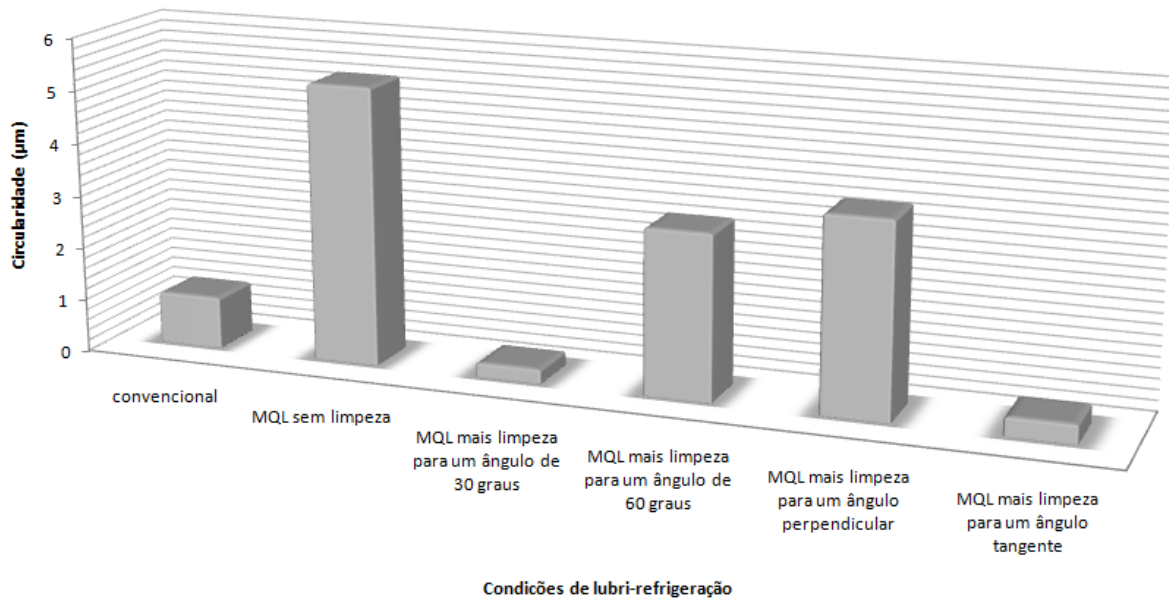


Figura 4. Resultados de circularidade para as diferentes condições de lubri-refrigeração.

Pode-se verificar que as melhores condições obtidas foram o MQL mais limpeza para um ângulo de 30 graus e tangente. De modo geral, a melhor condição foi para o ângulo de 30 graus.

A influência das velocidades de incidência do ar comprimido e periférica do rebolo também se verifica na medida de circularidade, onde quanto melhor essa combinação vetorial, melhor a retirada dos cavacos aderidos aos poros do rebolo e melhor a qualidade dimensional obtida.

Nota-se, uma incoerência entre o resultado de rugosidade, para a condição de limpeza com um ângulo de 60 graus, e o resultado de circularidade. Isso ocorreu, pois a circularidade é uma grandeza mais sensível à rigidez do processo, ou seja, máquina, ferramenta, peça, entre outros.

No entanto, de forma geral, para as condições mais eficientes de rugosidade, têm-se as mesmas para a circularidade.

4. CONCLUSÕES

O uso da técnica de lubri-refrigeração MQL associada a um jato de ar comprimido para limpeza da superfície de corte do rebolo com ângulo de incidência de 30 graus,

propiciou melhores resultados em todas as variáveis analisadas, quando comparados a lubri-refrigeração convencional.

A drástica redução da quantidade de fluido alcançada, a melhoria da rugosidade e circularidade, e a diminuição do desgaste do rebolo, com o uso desta técnica, MQL mais a limpeza, indicam que este aprimoramento das condições de lubri-refrigeração na retificação pode reduzir os insumos e os impactos ambientais e à saúde dos trabalhadores, tornando este processo de fabricação mais limpo, rápido e econômico.

REFERÊNCIAS

DHAR, N., ISLAM, S. and KAMRUZZAMAN, M., 2007, "Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear, Surface Roughness and Dimensional Deviation in Turning AISI-4340 Steel", G.U. Journal of Science, vol. 20, pp. 23-32 .

DINIZ, A. D., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L., 2001, "Tecnologia da usinagem dos materiais", Editora Artiber, São Paulo.

LEE, S.W., LEE, Y.C, JEOND, H.D. and CHOI, H.Z., 2002, "The Effect of High Pressure Air Jet on Form Accuracy in Slot Grinding", Journal of Materials Processing Technology, vol. 128, pp. 67-72.

NOVASKI, O. and DÖRR, J., 1999, "Usinagem quase a seco", Revista Máquinas & Metais, Ano. XXXVI, nº 406, 1999, p. 34-41.

PAWLAK, Z., KLAMECKI, E. B., RAUCKYTE, T.; SHPENKPV, P. G. and KOKOWSKI, A., 2004, "The Tribochemical and Micellar Aspects of Cutting Fluids", Tribology International, vol. 38.

SAHM, D., SCHNEIDER, T., 1996, "The production without coolant is interesting and must be more known", Machines and Metals Magazine (367), 38-55.

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

TAWAKOLI, T., WESTKAEMPER E., RABIEY M., 2007, “Dry grinding by special conditioning”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 33:419–424.