

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA MQL NO ACABAMENTO E CORRENTE ELÉTRICA NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 1045

Samuel Siqueira Piauilino, samuel.siqueira-piauilino@hotmail.com¹

Patrick Abreu de Oliveira, patrick@ufpi.edu.br¹

Marcos Guilherme Carvalho Bráulio Barbosa, marcosguilherme@ufpi.edu.br¹

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹

¹Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga – Teresina – PI, CEP: 64049-550

Resumo: O torneamento é um dos processos mais utilizado na indústria metal mecânica e a aplicação de fluido de corte neste processo possui relevância. Convencionalmente, usa-se a técnica de lubrificação abundante, em que é aplicado uma elevada vazão de fluido de corte. No entanto, na busca por um processo menos nocivo ao meio ambiente e a saúde do operador, bem como pela redução do custo operacional, técnicas ambientalmente amigáveis têm apresentado destaque, como é o caso da técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL). O princípio da técnica MQL é reduzir drasticamente a vazão de fluido de corte, aplicando-o em combinação com um fluxo de ar comprimido. Dessa forma, esta técnica possui algumas variáveis de controle como, por exemplo, a vazão do fluido de corte, a pressão do ar comprimido, posicionamento e geometria do bocal, o tipo de fluido, dentre outras. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo contribuir para uma melhor seleção dos parâmetros da técnica MQL em relação a pressão de aplicação do ar comprimido no torneamento do aço 1045 com ferramenta de metal duro. Assim, diferentes níveis de pressão de ar comprimido foram selecionados para análise: 0,4 MPa, 0,5 MPa e 0,6 MPa. Duas diferentes condições de corte em termos de avanço também foram testadas: 0,1392 mm/rev e 0,3544 mm/rev. Os parâmetros de saída analisados foram a rugosidade da peça (parâmetros Ra, Rq e Rz) e a corrente elétrica da máquina-ferramenta. Os resultados mostraram que, para o menor avanço, o aumento da pressão de aplicação do ar comprimido promoveu um aumento na rugosidade da peça, embora tenha contribuído para reduzir a corrente elétrica da máquina-ferramenta. No entanto, para o maior avanço, a variação da pressão de aplicação não exerceu influência significativo nas variáveis de saída analisadas neste trabalho.

Palavras-chave: Torneamento, Técnica MQL, Pressão de aplicação, Rugosidade, Corrente elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O torneamento é um processo mecânico de usinagem destinado a obtenção de curvas de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes. Logo, a peça gira em torno do eixo principal de revolução da máquina-ferramenta e a ferramenta de corte se desloca simultaneamente conforme uma trajetória coplanar com o referido eixo (Ferraresi, 1969). Ademais, segundo Rocha et al. (2018), o torneamento possui um aspecto muito importante em sua implementação: a estratégia de lubri-refrigeração durante o corte.

Em geral, a estratégia de lubri-refrigeração mais comum é a aplicação de fluido de corte pela técnica convencional (jorro – abundância a baixa pressão), a qual normalmente prejudica a saúde do operador e apresenta riscos ao meio ambiente caso o descarte do fluido de corte não seja feito de maneira correta. Além disso, esta técnica de lubri-refrigeração também está associada a um elevado custo de aplicação (Freitas, 2017).

Dessa forma, técnicas de lubri-refrigeração mais ecologicamente sustentáveis vêm ganhando espaço nas últimas décadas, principalmente aquelas que reduzem a quantidade de fluido de corte aplicado no processo como é o caso da técnica de Mínima Quantidade de Lubrificante (MQL). Esta técnica tem como característica a mistura de baixíssimas vazões de fluido de corte (5-500 mL/h) com ar comprimido a uma determinada pressão, sendo então direcionado à zona de contato entre a ferramenta e a peça (Freitas, 2017). Apesar da baixa quantidade de fluido de corte aplicado na técnica MQL, principalmente em comparação à técnica convencional, diversos trabalhos têm mostrado a eficiência desta técnica para os processos de usinagem.

Rocha et al. (2018), por exemplo, no torneamento do aço SAE 4340 com diferentes sistemas de lubri-refrigeração e ferramenta de metal duro, concluíram que a técnica MQL é um meio termo entre a lubri-refrigeração convencional e a usinagem a seco (sem aplicação de fluido de corte). Além deste, Tawakoli et al. (2010), avaliando a influência dos

parâmetros de névoa na técnica MQL no processo de retificação, concluíram que, à medida que a pressão do ar aumenta, as forças tangenciais também crescem.

Considerando a importância da técnica MQL para os processos de usinagem em geral, este trabalho tem como objetivo contribuir para uma melhor seleção dos parâmetros da técnica MQL, especificamente no que diz respeito à pressão de aplicação do ar comprimido, para o torneamento do aço SAE 1045 com ferramenta de metal duro. Três diferentes pressões de ar comprimido foram testadas, bem como duas diferentes condições de corte em termos de avanço (f). Como variáveis de saída, foram analisadas a rugosidade da superfície torneada e a corrente elétrica da máquina-ferramenta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de torneamento foram realizados em um torno mecânico horizontal Veker, TVK – 1160ECO com potência nominal de 3,36 kW. A ferramenta de corte utilizada nos ensaios foi de metal duro revestido, classe P, com designação ISO TNMG160408R-M, da fabricante Zhuzhou Huarui Precision Cutting Tools Co., Ltd. Os corpos de prova utilizados foram de aço SAE 1045 em estado normalizado, com dureza média entre 180 e 220 HB, diâmetro externo (D_e) de 47,2 mm e comprimento (L) de 100 mm.

O fluido de corte utilizado foi o óleo vegetal Vascomill MMS FA 2 da fabricante Blaser, que é um óleo especial para aplicação da técnica MQL, adequado para todos os metais e não é classificado como perigoso de acordo com a norma da ABNT NBR 14725-2. O fluido de corte foi aplicado a uma vazão de 60,0 mL/h e de forma integral, isto é, sem adição de água. Três diferentes pressões de ar comprimido foram testadas: 0,4 MPa, 0,5 MPa e 0,6 MPa. O bocal para aplicação do fluido de corte foi posicionado na superfície de saída da ferramenta conforme mostrado na Fig. 1. Além das diferentes pressões de aplicação, duas condições de corte em termos de avanço foram testadas: 0,1392 mm/rev e 0,3544 mm/rev. Para cada ensaio de torneamento, 50 mm de comprimento do corpo de prova, na direção de avanço, foi usinado. A profundidade de corte e a velocidade de corte foram constantes em todos os ensaios, sendo, respectivamente, 1,0 mm e 173,49 m/min. Na Tab. 1 é mostrado o planejamento experimental utilizado neste trabalho.

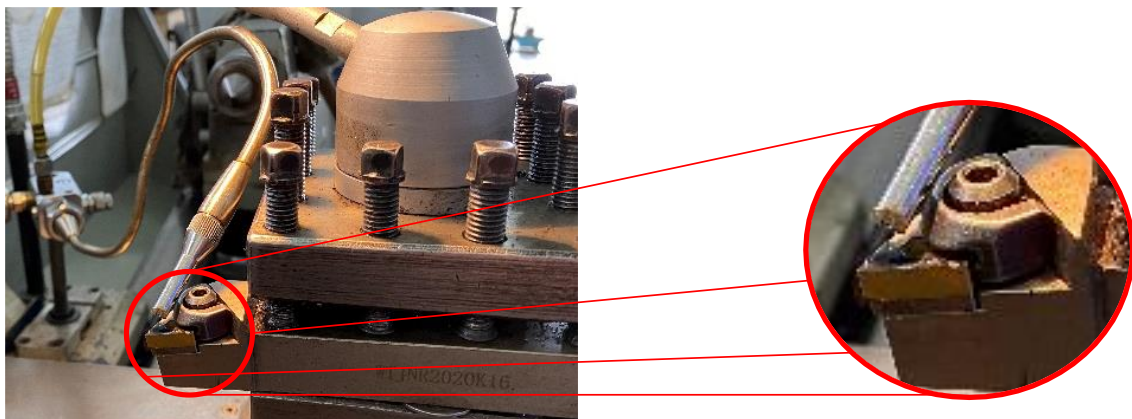


Figura 1. Detalhe do bocal e seu posicionamento para aplicação da técnica MQL.

Tabela 1. Planejamento experimental para os ensaios de torneamento.

Tabela 1. Planejamento experimental para os ensaios de torneamento.					
Ensaio	Pressão de aplicação (MPa)	Avanço - f (mm/rev)	Profundidade de corte - a _p (mm)	Vazão (mL/h)	Velocidade de corte - v _c (m/min)
1	0,4	0,1392	1,0	60,0	173,49
2	0,5				
3	0,6				
4	0,4	0,3544			
5	0,5				
6	0,6				

As variáveis de saída analisadas neste trabalho foram a rugosidade da superfície torneada e a corrente elétrica da máquina-ferramenta. A rugosidade foi medida com um rugosímetro portátil da fabricante Mitutoyo, modelo SJ 210, com a ponta de diamante sintético e um raio de 5 μ m. Os parâmetros de rugosidade selecionados para avaliação foram R_a , R_q e R_z . Para as medições de rugosidade, um valor de cut-off de 0,8 mm e 5 comprimentos de amostragem foram utilizados conforme a norma ISO 4288 (2008).

A corrente elétrica da máquina-ferramenta foi medida através de um microcontrolador Arduino ATmega 2560 com um circuito eletrônico e sensor de Efeito Hall não invasivo com faixa de medição de 0 a 100 A, modelo SCT-013-000. O sensor foi montado em uma das fases do motor elétrico trifásico do torno mecânico, e os sinais obtidos pelo sensor foram armazenados pelo microcontrolador e exportados para uma planilha por meio do programa PLX-DAQ. Os valores de corrente elétrica eficaz (valor RMS) em função do tempo no período de corte foram considerados para análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Rugosidade da superfície

Na Fig. 2 é mostrado o gráfico da rugosidade média (parâmetro Ra) da peça em função da pressão de aplicação da técnica MQL para cada condição de avanço avaliada neste trabalho. Observa-se da Fig. 2 que, para o menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev), o parâmetro Ra cresce à medida que a pressão aumenta. No entanto, para o maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev), pode-se observar que o aumento da pressão de aplicação da técnica MQL não exerceu influência significativa para os resultados de rugosidade.

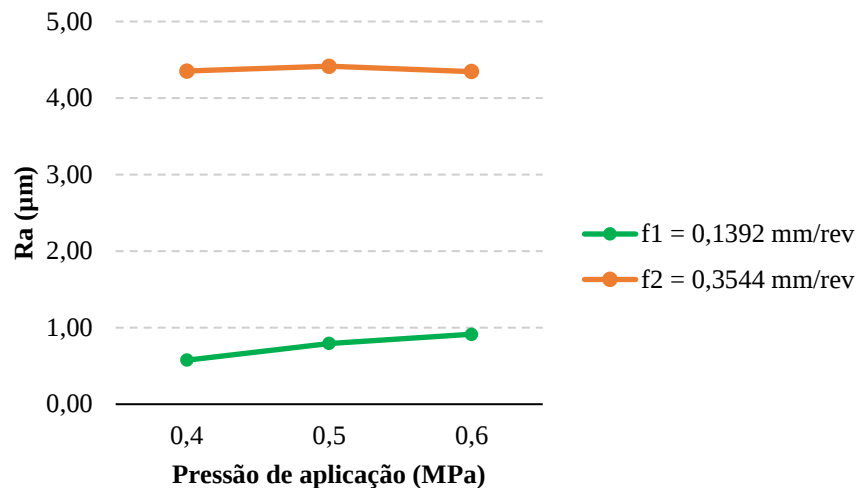


Figura 2. Curvas de rugosidade (Ra).

Segundo Rahi e Dorairaju (2018), a utilização de ar comprimido em maiores pressões na técnica MQL gera maior energia para quebrar as partículas de lubrificante e, consequentemente, produzir um maior número de gotas mais finas. A maior quantidade de pequenas gotas de óleo lubrificante tende a melhorar a capacidade de penetração do fluido de corte na zona de contato, contribuindo para uma lubrificação mais eficaz e, consequentemente, reduzindo esforços de corte e melhorando o acabamento da superfície usinada. Assim, quando utilizado o menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev), os resultados observados neste trabalho contrastam com o relatado por Rahi e Dorairaju (2018), uma vez que maiores pressões de aplicação promoveram um aumento na rugosidade da superfície torneada.

Uma possível explicação para este resultado está na forma do cavaco. Diferente do observado para o maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev), a usinagem com o menor avanço resultou em um cavaco longo em fita, o qual emaranhou na peça conforme mostrado na Fig. 3. Este emaranhamento intensificou com o aumento da pressão de aplicação da técnica MQL, o que sugere uma melhora na lubrificação na zona de escorregamento. No entanto, dado o emaranhamento do cavaco, o acabamento da superfície torneada foi prejudicado. Para a condição de maior avanço, os resultados sugerem que a faixa de variação de pressão de aplicação da técnica MQL testada não foi suficiente para verificar um efeito significativo desta variável de entrada na rugosidade da peça quando usinada com altos valores de avanço.



Figura 3. Cavaco emaranhado durante o ensaio com menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev).

Ainda da Fig. 2, pode-se observar que, para os ensaios com maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev), o valor de R_a aumentou em torno de 83% em comparação aos ensaios com menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev), resultado este esperado. Segundo Machado et al. (2009), o acabamento da superfície é diretamente proporcional ao quadrado do avanço. Marques e Castagnel (2018) pontuam que quanto maior o avanço da ferramenta, maior é a rugosidade média da peça resultante, porque o avanço contribui, no perfil de rugosidade, para o aumento da distância entre picos, aumentando o valor da amplitude desta.

Ao analisar os parâmetros de rugosidade R_q e R_z , mostrados na Fig. 4, observa-se o mesmo comportamento do parâmetro R_a (Fig. 2), inclusive com aumentos similares em função do avanço: 81% e 75% para os parâmetros R_q e R_z , respectivamente.

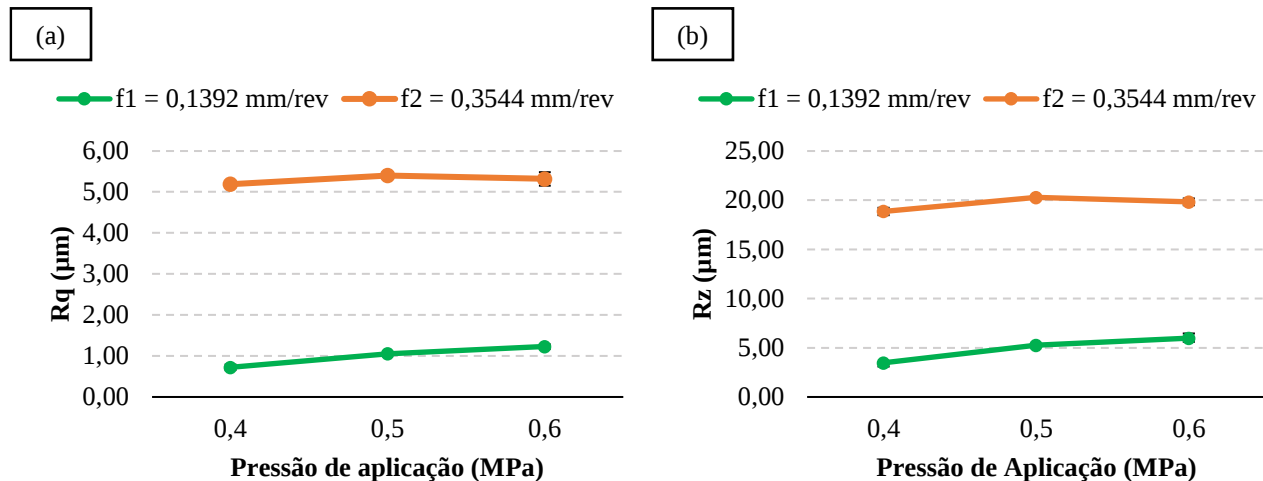


Figura 4. Curvas de rugosidade R_q (a) e R_z (b).

3.2. Corrente elétrica da máquina-ferramenta

Na Fig. 5 são mostrados os valores médios de corrente elétrica (valor RMS) em função da pressão de aplicação para as duas condições de avanço testadas neste trabalho. Pode-se notar que, para o maior avanço, a corrente elétrica da máquina-ferramenta foi, em geral, 27% maior em comparação ao menor avanço, independentemente da pressão de aplicação da técnica MQL. Este resultado está de acordo com o relatado pela literatura pois, Machado et al. (2009), à medida que o avanço aumenta, os esforços de corte também aumentam, sendo necessário, assim, uma maior potência mecânica para remoção do material. Dessa forma, a potência elétrica requerida para o corte do material é maior e, consequentemente, a corrente elétrica da máquina-ferramenta aumenta.

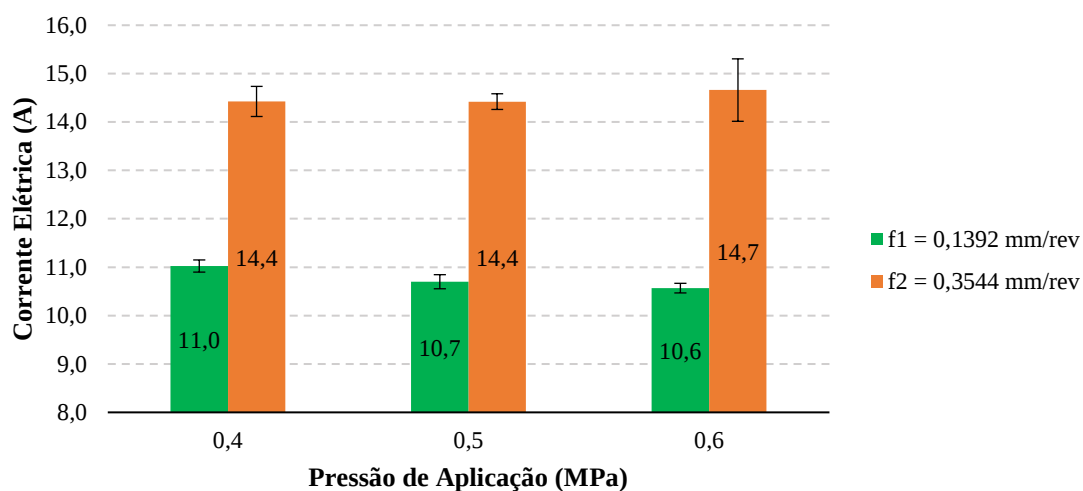


Figura 5. Análise da Corrente Elétrica.

Em relação ao efeito da pressão de aplicação da técnica MQL na corrente elétrica da máquina-ferramenta, pode-se observar da Fig. 5 que, para o maior avanço, não foi observado uma tendência significativa para as diferentes pressões de

aplicação testadas. Por outro lado, para o menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev), é possível observar uma tendência de diminuição da corrente elétrica da máquina-ferramenta com o aumento da pressão de aplicação da técnica MQL, o que sugere uma redução na potência requerida para o processo e, conseqüentemente, nos esforços de corte. Isto sugere uma melhor lubrificação na zona de corte com o aumento da pressão de aplicação da técnica MQL e corrobora a discussão dos resultados de rugosidade.

4. CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios de torneamento com variação da pressão de aplicação da técnica de mínima quantidade de lubrificante (MQL) e diferentes condições de avanço testadas neste trabalho, pode-se concluir que:

- Na condição de menor avanço ($f_1 = 0,1392$ mm/rev), o aumento da pressão de aplicação aumentou a rugosidade da peça para todos os parâmetros analisados. No entanto, para o maior avanço, o efeito das pressões de aplicação da técnica não exerceu influência nos resultados de rugosidade.
- A rugosidade da superfície torneada aumentou com o avanço conforme esperado.
- Para a condição de maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev), a pressão de aplicação da técnica MQL não apresentou influência significativa para os resultados de corrente elétrica.
- Para a condição de corte mais branda (menor avanço $f_1 = 0,1392$ mm/rev), a corrente elétrica da máquina-ferramenta diminuiu, em média, com o aumento da pressão de aplicação da técnica MQL.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia e ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Piauí por todo apoio à realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4287. “Especificações Geométricas do Produto (GPS) – Rugosidade – Método do Perfil – Termos, Definições e Parâmetros de Rugosidade”. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- Ferraresi, D., 1969. “Fundamentos da usinagem dos metais”. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brazil.
- Freitas, R. S., 2017. “Torneamento do aço SAE 4340 com diferentes sistemas de lubrificação (a seco, jorro e mínima quantidade de lubrificante)”. UnB, Brasília, Brazil.
- Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Silva, M. B. da., 2009. “Teoria da usinagem dos materiais”. Ed. Blucher, São Paulo, Brazil.
- Marques, C. R., Castagnol, P. H., 2018. “Influência do avanço da ferramenta e do uso de fluido de corte na rugosidade em usinagem de torneamento cilíndrico externo de alumínio”. Rev. Cien. Exatas Tecnol., Londrina, Brazil.
- Rahim, E. A., Dorairaju, H., 2018. “Evaluation of mist flow characteristic and performance in Minimum Quantity Lubrication (MQL) machining”. Universiti Run Hussein Onn Malaysia, Johor, Malaysia.
- Rocha, V. S., Vieira, L. E. R., Castanheira, G. O., Camargo, P. S., Oliveira, D. S., Oliveira, J. H., Viana, R., 2018. “Torneamento do aço SAE 4340 com diferentes sistemas de lubrificação”. CONEM, Salvador, Brazil.
- Tawakoli, T., Hadad, MJ., Sadegui, MH., 2010. “Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding process”. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Schwenningen, Germany.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INFLUENCE OF MQL TECHNIQUE APPLICATION PRESSURE ON FINISHING AND ELECTRICAL CURRENT IN TURNING OF SAE 1045 STEEL

Samuel Siqueira Piauilino, samuel.siqueira-piauilino@hotmail.com¹

Patrick Abreu de Oliveira, patrick@ufpi.edu.br¹

Marcos Guilherme Carvalho Bráulio Barbosa, marcosguilherme@ufpi.edu.br¹

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹

¹Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, Bairro Ininga – Teresina – PI – CEP: 64049-550

Abstract. Turning is one of the most used processes in the metalworking industry and the application of cutting fluid has relevance. Conventionally, the copious lubrication technique is used, in which a large amount of cutting fluid is applied. However, in the search for a process that is less harmful to the environment and the health of the operator, as well as to reduce operating costs, environmentally friendly techniques have been highlighted, such as the minimum quantity of lubrication (MQL) technique. The principle of the MQL technique is to reduce the flow of cutting fluid as much as possible, applying it in combination with a flow of compressed air, without compromising the final quality of the part and the tool life. Thus, this technique has some control variables, such as the flow of cutting fluid, compressed air pressure, nozzle positioning and geometry, the type of fluid, among others. In this sense, this work aims to contribute to a better selection of the parameters of the MQL technique in relation to the application pressure of compressed air in the turning of 1045 steel with a carbide tool. Thus, different levels of compressed air pressure were selected for analysis: 0,4 MPa, 0,5 MPa and 0,6 MPa. Two different cutting conditions, in terms of feed, were also tested: 0,1392 mm/rev and 0,3544 mm/rev. The output parameters analyzed were the roughness of the part (parameters Ra, Ra and Rz), and the electrical current of the machine tool. The results showed that, for the smallest feed, the increase in the pressure applied to the compressed air increased the roughness of the part and decreased the electrical current of the machine-tool. However, for the greatest advance, the application pressure variation did not influence the results of both output variables since they remained constant.

Keywords: Turning, MQL technique, Pressure of application, Roughness, Electric current.