

EFEITO DA ADIÇÃO DE PÓ DE CARBONETO DE SÍLCIO NO FLUIDO DIELÉTRICO SOBRE O DESEMPENHO DA USINAGEM POR DESCARGAS ELÉTRICAS DO AÇO ABNT M2

Luciano Antônio Fernandes

Claudionor Cruz

Alberto Arnaldo Raslan

Universidade Federal de Uberlândia / FEMEC Faculdade de Engenharia Mecânica
CEP - 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil / E-mail: secposmec@mecanica.ufu.br

Resumo

O presente trabalho relata experimentos feitos em moderno equipamento de usinagem por descargas elétricas (EDM) na geração de entalhes semi-circulares em aço-rápido ABNT M2 em regime de desbaste. As condições dos experimentos incluem a comparação entre os pós de silício e carboneto de silício, adicionados ao fluido dielétrico. Além disso, foram investigados a taxa de remoção de material e o desgaste da ferramenta. Os resultados indicam que a adição de SiC é mais benéfica ao processo que a adição de Si nos testes realizados com querosene. Os testes realizados com adição de SiC com granulometria de 15 μ m (600 mesh) na concentração de 30 g/l adicionado a três fluidos dielétricos comerciais indicaram os seguintes resultados: melhora significativa na taxa de remoção de material, razoável melhoria na relação de desgaste em comparação com os testes realizados sem adição de SiC.

Palavras-chave: Usinagem por descargas elétricas, Aço-rápido ABNT M2, Adição de pó, Fluido dielétrico.

INTRODUÇÃO

É digno de nota que dos processos não tradicionais de usinagem, o processo EDM por se tratar de um dos primeiros a serem estabelecidos na indústria, é ainda um dos processos em franca evolução no sentido de corresponder a novas exigências da engenharia de fabricação.

Porém, apesar da grande evolução verificada nas últimas décadas, o processo EDM ainda é referenciado como um processo que tem uma limitação no nível de acabamento superficial e por apresentar uma baixa taxa de remoção de material, quando comparado com os processos tradicionais e de afetar metalurgicamente a superfície e camadas sub-superficiais das peças usinadas, Kobayashi (1995).

Conforme comenta Fernandes (1999), alguns pesquisadores recomendam que as superfícies usinadas por EDM devam ser acabadas por um processo eletroquímico, ultrassônico ou de fluxo abrasivo, para eliminação da camada refundida, pobre em propriedades mecânicas, e mesmo para melhorar o acabamento superficial, visando a otimização do desempenho das peças submetidas, principalmente, a esforços dinâmicos.

Entretanto esta recomendação é discutível, pois a própria concepção dos meios de produção atuais visam diminuir as operações de fabricação e o número de processos envolvidos.

Todos estes fatores têm sido os impulsionadores da própria evolução que o processo EDM tem experimentado e a adição de pós ao fluido dielétrico faz parte desta, sendo referida como uma nova tecnologia. Alguns trabalhos como os de Rodrigues (1999) e Fernandes (1999) tem mostrado que a adição de pós ao fluido dielétrico no processo EDM tem contribuído consideravelmente na obtenção de peças com boa textura e integridade superficial. Além disso, esta tecnologia tem apresentado outras vantagens como o aumento na taxa de remoção de material, a redução do desgaste da ferramenta além de promover maior estabilidade do processo de geração de descargas pela fonte de alimentação.

Este trabalho apresenta resultados que mostram a viabilidade de poder se trabalhar em regimes de desbaste, ou seja, alta energia de descarga e obter resultados consideráveis na taxa de remoção de material e na relação de desgaste sem no entanto afetar o acabamento da superfície usinada, no caso específico, do aço-rápido ABNT M2.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

DISPOSITIVO AUXILIAR

Um dispositivo auxiliar de mistura e de injeção do FAP (fluido com adição de pó), é acoplado ao equipamento EDM, uma Engemaq 440 NC. Este dispositivo torna possível a obtenção de uma mistura homogênea, para uma concentração previamente estabelecida.

Outro propósito deste dispositivo é garantir a presença do FAP na região da interface ferramenta-peça durante a usinagem dos bits. A Figura 1 mostra um desenho esquemático deste equipamento de mistura e de injeção do FAP. Além disso, este dispositivo presta-se a um terceiro objetivo, o de evitar que os 420 litros de fluido dielétrico do reservatório do equipamento EDM fossem contaminados com os resíduos do FAP e que as tubulações e conexões da máquina fossem danificados com a ação abrasiva dos pós.

É interessante ressaltar que os testes sem adição de pó foram feitos utilizando o mesmo dispositivo por uma questão de coerência, em vista da dinâmica do processo, para que os resultados viessem a ser compatíveis com os testes feitos com adição de pó.

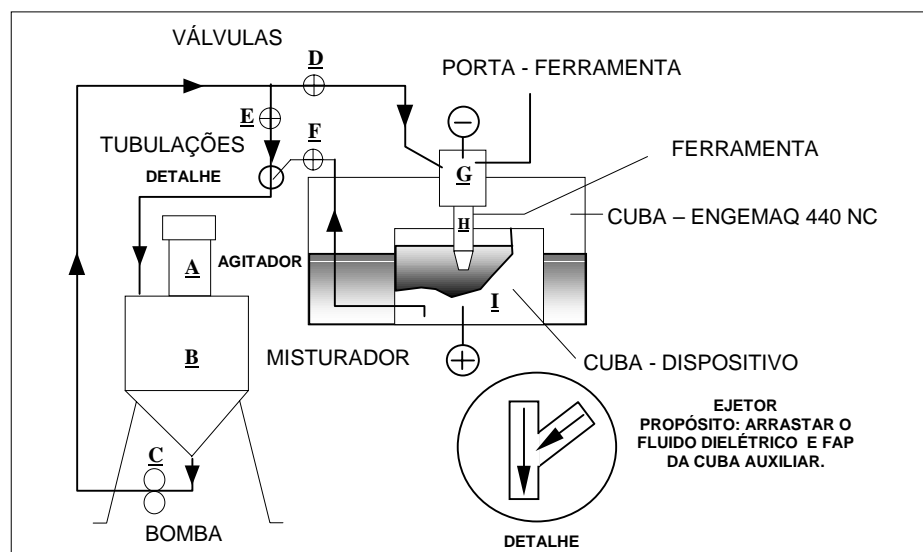


Figura 1 . Dispositivo auxiliar de mistura e injeção do FAP.

Fazem parte deste dispositivo auxiliar, um reservatório para dielétrico ou FAP com capacidade para 36 l (B) com agitador (A) com variação de velocidade até 3000rpm e potência de 0,42 CV, uma bomba centrífuga (C) de potência de 1/3 CV e 3480 rpm para impulsionar o fluido na região de trabalho, através de tubulações rígidas e flexíveis para dentro da cuba (I) de dimensões 250 x 250 x 250 mm.

O funcionamento deste dispositivo baseia-se no controle das válvulas (D, E, F). O controle da vazão do fluido através do porta-ferramenta (G) e ferramenta (H) é feito por meio das válvulas (E) e (D). Visto que a tubulação após a válvula (D) limita a vazão nominal da bomba, a válvula (E) tem a função de dosar a passagem de todo excesso de fluido, que não passaria pela válvula (D), desviando este para o reservatório (B). Isto faz com que a bomba não sofra recalque e não se formem bolhas nas tubulações, que aqueceriam todo o sistema.

As válvulas (D e F) controlam o nível de fluido dentro da cuba do dispositivo (I), um balanço entre entrada e saída do fluido. Na própria cuba é feita um filtragem magnética por meio de ímãs que retêm os resíduos metálicos provenientes da usinagem do aço ABNT M2 pelo processo EDM, permitindo que somente o fluido retorne ao reservatório.

Este retorno é conseguido por ação de um efeito de arraste na junção das tubulações onde estão colocadas as válvulas (E e F), mostrado no detalhe da Figura 1. Este ejetor, propriamente dito, é capaz de contrabalançar a vazão de entrada com o auxílio da válvula (E), com que evita ser preciso colocar mais uma bomba no sistema.

TAXA DE REMOÇÃO DE MATERIAL - TRM

A TRM é o volume de material removido da peça pelo tempo de usinagem, expressa em mm^3/min e calculada empregando-se a expressão 1:

$$TRM = \frac{V_p}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde:

V_p = Volume de material removido da peça - [mm^3]

Δt = Tempo de usinagem - [min].

Portanto, fez-se necessário medir o volume de material removido da peça e o tempo da operação de um ensaio. O volume de material removido da peça é obtido pela expressão 2:

$$V_p = \frac{\Delta m_p}{\rho} \quad (2)$$

Onde:

Δm_p = Diferença entre a massa inicial e final do material da peça - [g];

ρ = Peso específico do aço rápido ABNT M2 - $0,00768 \text{ [g/mm}^3\text{]}$;

A diferença entre a massa inicial e final do material da peça foi quantificada através de uma balança analítica, marca Bosch S 2000, com resolução de 10^{-4} g, logo após uma limpeza a que as amostras sofreram. O tempo de operação de uma usinagem é fornecido pela própria máquina EDM, através do cronômetro interno no painel de controle.

RUGOSIDADE MÉDIA ARITMÉTICA (R_a)

Foram levantados diversos parâmetros de rugosidade porém, as análises restringem-se à rugosidade R_a , por apresentar os menores desvios.

Para tanto utilizou-se um rugosímetro SURTRONIC 3+ da Rank Taylor Hobson com interface computacional de aquisição de dados. O comprimento de amostragem (*cut-off*) adotado foi 2.5 mm, conforme a norma ISO 4287/1. Para cada amostra, foram feitas leituras no sentido perpendicular ao eixo central da amostra, de acordo com o esquema da Figura 2.

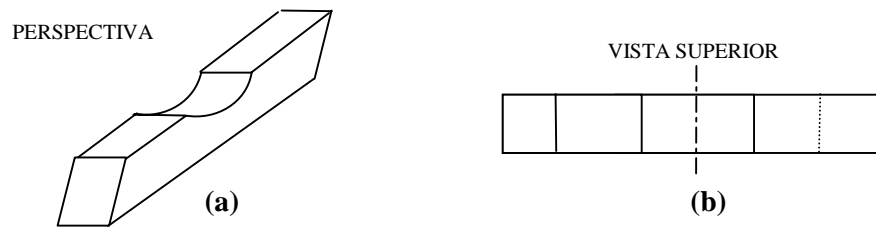


Figura 2. (a) Perspectiva da geometria usinada em aço-rápido ABNT M2 (b) Vista superior, na qual a linha de centro define o local onde foram realizadas as medições do parâmetro Ra.

RELAÇÃO DE DESGASTE - RD

A RD é definida como a relação entre o volume de material removido da peça e o volume de material gasto da ferramenta, conforme a expressão 3 a seguir:

$$RD = \frac{V_p}{V_f} \quad (3)$$

Onde:

V_p = volume de material removido da peça - [mm³];

V_f = volume de material gasto da ferramenta - [mm³];

De forma análoga, fez necessário medir o volume de material removido da peça e o volume de material gasto da ferramenta. O volume de material removido da peça é obtido segundo a expressão 2, apresentada anteriormente, e o volume de material gasto da ferramenta é obtido através da expressão 4:

$$V_f = \frac{\Delta m_f}{\gamma} \quad (4)$$

Onde:

Δm_f = diferença entre a massa inicial e final da ferramenta [g];

γ = massa específica do material da ferramenta - 0,0089 [g/mm³];

As mesmas preocupações com relação à limpeza da peça são tomadas também com a ferramenta antes do momento da pesagem. Ainda vale lembrar que, cada valor de pesagem é o resultado da média de três pesagens. E que os valores obtidos de TRM e RD para cada condição é a média de seis resultados ou repetições.

RESULTADOS

O teste comparativo entre silício e carboneto de silício foi realizado em termos dos parâmetros: TRM e Ra, tendo o querosene como fluido dielétrico básico. Esse teste acha-se resumido na Figura 3 na qual os parâmetros de TRM e Ra são avaliados em três condições, sendo a primeira sem adição e as demais com adição Si e SiC, no regime de desgaste.

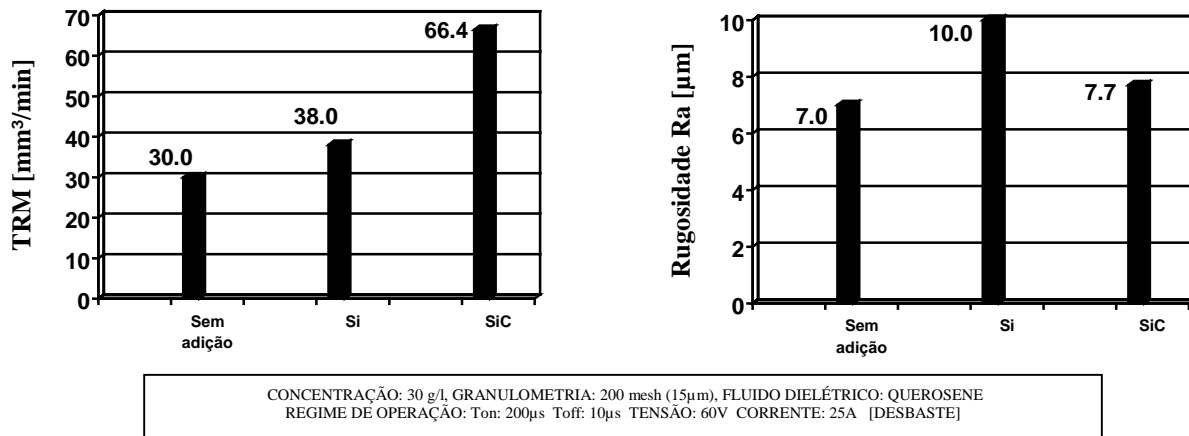


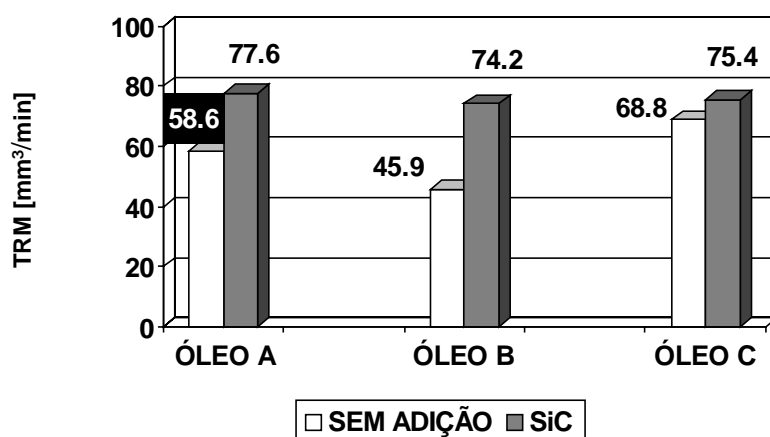
Figura 3 . Teste comparativo para avaliação da adição de pó de Si e SiC comparados ao fluido dielétrico sem adição, em termos de TRM e Ra.

A concentração de 30 g/l foi adotada segundo sugestões feitas por Narumiya et al., (1989) e a granulometria da adição de 50 µm (220 mesh) foi escolhida em função da disponibilidade. O silício foi cedido pela empresa LIASA nessa granulometria que também era uma das disponíveis para o carboneto de silício do laboratório LTM.

Da Figura 3 conclui-se que a adição de carboneto de silício (SiC) mostrou ser mais eficiente que o silício (Si) tanto em relação à TRM quanto à rugosidade. Em relação à TRM, o SiC promoveu o arranque de 66 mm³/min, ao passo que o Si promoveu o arranque de 38 mm³/min, enquanto que o fluido dielétrico sem adição (querosene) ficou na faixa de 30 mm³/min. Em termos relativos, o fluido (querosene + SiC) foi 121% superior ao querosene puro enquanto que o fluido (querosene + Si) foi apenas cerca de 75% melhor que o querosene puro. Em relação ao acabamento, a adição de Si piorou a rugosidade Ra em relação ao querosene puro (10,0 µm contra 7,0 µm) enquanto que a adição de SiC praticamente manteve a mesma rugosidade Ra (7,7 µm contra 7,0 µm).

Um aspecto a ser considerado em relação a adição de pós é promover maior arranque de material mantendo certo nível de acabamento na superfície usinada. Um segundo aspecto relevante é a menor potência utilizada no processo de usinagem. Uma comparação entre querosene puro e querosene com adição de carboneto de silício se nota este fato, onde para a mesma potência empregada tem-se TRM completamente diferentes. Portanto, reproduzir o mesmo nível de arranque de material alcançado com adição de SiC com querosene puro necessitaria de maior potência empregada o que conduziria a níveis de acabamentos bem inferiores.

A Figura 4 apresenta os resultados médios de TRM que compara o desempenho entre as situações com e sem adição de SiC para três tipos de fluidos dielétricos comerciais pesquisados, referidos apenas como óleos A, B e C. A referida figura mostra que a adição de SiC nos três fluidos dielétricos comerciais promoveu aumento na TRM. O aumento percentual foi de 32%, 62% e 10% respectivamente para os fluidos dielétricos A, B e C. Basicamente, este ganho provém do efeito de dispersão das descargas e do aumento da interface ferramenta-peça como mencionado por Narumiya et al. (1989). O primeiro diz respeito a formação de menores partículas erodidas geradas no processo e a segunda com a facilidade de saída destas da interface ferramenta-peça. Jeswani (1981), menciona ainda que a adição de pós ao fluido dielétrico reduz a queda de voltagem produzindo ciclos ativos de descarga de maior eficiência do que o processo EDM convencional, ou seja, sem adições de pó. Porém observa-se que com o fluido B o efeito de adição é mais pronunciado.



CONCENTRAÇÃO: 30 g/l. GRANULOMETRIA: 600 mesh (50 μ m)
 REGIME DE OPERAÇÃO: Ton: 200 μ s Toff: 10 μ s TENSÃO: 60V CORRENTE: 25A [DESBASTE]

Figura 4 . Taxas de Remoção de Materiais (TRM) - geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B e C com e sem adição de SiC.

Analisando a Tabela 1 que apresenta algumas propriedades dos fluidos dielétricos empregados, percebe-se que o fluido B apresenta a menor viscosidade em relação aos fluidos A e C.

Tabela 1. Propriedades físicas dos fluidos dielétricos usados nos ensaios definitivos para usinagem no regime de desbaste do aço rápido ABNT M2.

Fluidos dielétricos	Viscosidade cSt a 40 ° C	Massa específica ρ/cm^3	Ponto de Fulgor °C
Óleo A	4,1	0,873	150
Óleo B	1 - 2	0,76 - 0,82	150 - 300
Óleo C	3,7 - 4,7	0,836 - 0,933	min.104

Segundo o manual Engemaq (1996), quanto menor a viscosidade tem-se descargas menos concentradas, que retiram menor quantidade de material da peça.

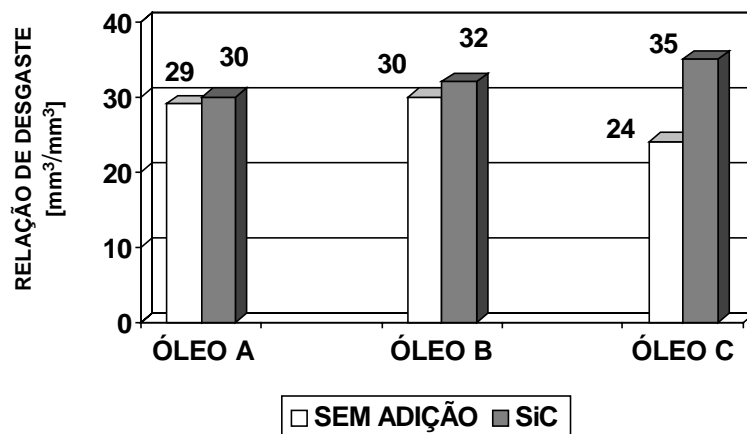
Embora a adição de pós ao fluido dielétrico não tenha objetivo de concentrar as descargas, mas de promover as dispersão das mesmas, isto faz com que a quantidade de material removido seja maior justamente pela multiplicação das descargas por toda a superfície da peça. E o efeito torna-se mais pronunciado pela baixa viscosidade do fluido dielétrico B, pois quanto maior a viscosidade maiores são as dificuldades na expulsão dos produtos da erosão, pela própria movimentação das mesmas na interface ferramenta-peça (McGeough, 1987).

Além disso, suspeita-se que para os fluidos A e C, que apresentam maior viscosidade, há uma maior sustentação das partículas do que no caso do fluido dielétrico B, que tem maior tendência à precipitação. Assim, as partículas de SiC são usinadas antes da peça propriamente dita. Conforme comenta König et al (1988), o SiC é um material semi-condutor, que o processo EDM consegue usiná-lo com relativo sucesso e que as descargas preferem a menor distância para se propagar (Benedict, 1987).

Isso, faz com que a eficiência da adição, nestes casos, não seja tão pronunciada, uma vez que uma parcela deste efeito é gasto para se usinar as próprias partículas adicionadas.

Mas o aspecto de maior destaque quanto a adição de SiC é o de nivelar as propriedades físicas e químicas dos fluidos dielétricos. É notória a diferença destas propriedades pelos resultados de TRM apresentados sem a adição de SiC, onde a única variável foi o próprio fluido dielétrico. A condutividade do SiC pode ser um indicativo deste resultado pela alteração da rigidez dielétrica do fluido dielétrico, ou seja, a resistência à passagem da descarga.

A Figura 5 apresenta os resultados médios da relação de desgaste utilizados na comparação entre as situações com e sem adição de SiC, para três tipos de fluidos dielétricos comerciais pesquisados.



CONCENTRAÇÃO: 30 g/l, GRANULOMETRIA: 600 mesh (50 μ m)
REGIME DE OPERAÇÃO: Ton: 200 μ s Toff: 10 μ s TENSÃO: 60V CORRENTE: 25A [DESBASTE]

Figura 5 . Relações de Desgaste - geradas no processo EDM com fluidos dielétricos A, B e C com e sem adição de SiC.

Pelos resultados de relação de desgaste apresentados na Figura 5, nota-se que a adição de SiC trouxe benefício real somente para o fluido dielétrico C, com aumento na RD em mais de 45%. Nos outros casos os aumentos na RD foram mínimos. Normalmente, no processo EDM convencional, o aumento da TRM se relaciona com a redução da RD. Entretanto, isto não ocorreu em nenhum caso com a adição de SiC, e que por sinal, apresentou aumentos consideráveis na TRM. Este é um indicativo de que consegue-se realizar tarefas com maior rapidez e com pouco desgaste da ferramenta.

CONCLUSÕES

Estes resultados somente dão mostra do potencial que a adição de SiC tem mesmo em regime de desgaste.

- A adição de SiC mostrou ser mais eficiente do que a de Si, pelo que mostraram os resultados da TRM e da rugosidade Ra. A TRM apresentada pela adição de 30 g/l de SiC foi de aproximadamente 121% superior ao querosene puro enquanto que nas mesmas condições a adição de pó de Si foi apenas cerca de 75% melhor do que o querosene puro. Em relação ao acabamento, a adição de pó de Si piorou a rugosidade média em relação ao querosene puro (10,0 μ m contra 7,0 μ m), enquanto que a adição de SiC praticamente manteve a mesma rugosidade (7,7 μ m contra 7,0 μ m).

- Foram observados aumentos consideráveis na TRM, de cerca de 32%, 62% e 10% respectivamente para os fluidos dielétricos comerciais A, B e C, com o emprego da adição de SiC. Os fluidos dielétricos originais apresentaram resultados da TRM bastante diferentes entre si, conforme Figura 4, óleo A = 58,6 [mm³/min], óleo B = 45,9 [mm³/min], óleo C = 68,8 [mm³/min]. Em contrapartida a adição de SiC teve um efeito de nivelar o desempenho dos fluidos dielétricos testados, tendo em vista que apresentaram resultados da TRM com um desvio máximo entre si de 2,5%.
- Por meio dos resultados de relação de desgaste apresentados, nota-se que a adição de SiC trouxe benefício real somente para o fluido dielétrico C, com aumento na RD em mais de 45,0%. Nos outros casos, os aumentos na RD foram pequenos em cerca de 3,4% e 6,7% respectivamente para os fluidos dielétricos A e B.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES como órgão financiador da pesquisa, bem como a empresa fornecedora de Si – LIASA, pela disposição em atender nossa solicitação.

REFERÊNCIAS

- Benedict, G. F., 1987, "Nontraditional Manufacturing Process", New York, Marcel Dekker, pp. 207-246.
- Engemaq, 1996, "Manual de Instalação, Operação e Programação", Engemaq Eletroerosão, Key West Co, Julho.
- Fernandes, L.A., 1999, "Efeito da Adição de Carboneto de Silício nos Fluidos Dielétricos sobre o Desempenho da Usinagem por Descargas Elétricas do Aço Rápido ABNT M2", Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 72 pgs.
- Jeswani. M.L., 1981, "Effect of the Addition of Graphite Powder to Kerosene used as the Dielectric Fluid in Electrical Discharge Machining", Wear, Vol. 70, pp. 133-139.
- Kobayashi, K., 1995, "The Present and Future Developments of EDM and ECM", International Symposium for Electromachining - ISEM XI, Lausanne, pp. 29-47.
- König, W. & Dauw, D.F., 1988, "EDM-Future Steps Towards the Machining of Ceramics", Annals of the CIRP, Vol. 37, n° 2, pp. 1-9.
- McGeough, J. A., 1988, "Advanced Methods of Machining", Chapman and Hall, 1° Edition, London, Chapter 6 – Electrodischarge Machining, pp. 128-152.
- Narumiya, H., Mohri, N., Saito, N., Ootake, H., Tsunekawa, Y., Takawashi, T., Kobayashi, K., 1989, "EDM by Powder Suspended Working Fluid", Proceedings of International Symposium for Electro-machining – ISEM IX, Nagoya/Japan, pp. 5-8.
- Rodrigues, J.R.P., 1999, "Efeito da Adição de Carboneto de Silício em Pó na Geração de Microtrincas e na Topografia da Superfície Usinada por Descargas Elétricas do Aço Rápido ABNT M2", Dissertação de Mestrado, UFU, Uberlândia-MG, 47 pgs.