

# Evaluación de superficies maquinadas por descargas eléctricas utilizando diferentes fluidos dieléctricos

Luciano José Arantes

ljarantes@mecanica.ufu.br

Alberto Arnaldo Raslan

lrm-raslan@ufu.br

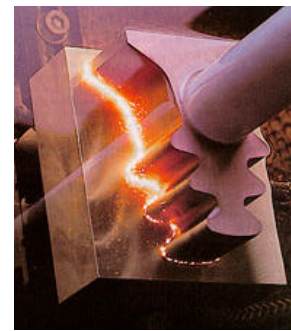
Evaldo Malaquias da Silva

emalaqui@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva

mbacci@mecanica.ufu.br

Universidad Federal de Uberlândia, Facultad de Ingeniería Mecánica,  
Av. João Naves de Avila, 2160, Campus Santa Mônica, Bloco 1M, Brasil.



## ABSTRACT

*The performance of different dielectric fluids used in Electrical Discharge Machining (EDM) is analyzed in this work. Three different set-ups of work in terms of Metal Removal Rate (MMR), Wear Ratio (WR) and roughness parameter (Ra) were considered. Five tests with different types of dielectric fluids using a copper tool have been done. Very important differences in surface quality were observed depending on the dielectric fluids. An important conclusion about the use of kerosene is presented.*

## KEYWORDS

EDM, dielectric fluids, MRR, topography and roughness.

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es el estudio de las superficies producidas por el proceso de descargas eléctricas EDM con diferentes tipos de fluidos dieléctricos en tres regímenes de fabricación. Fueron realizadas pruebas con cinco tipos diferentes de fluidos dieléctricos y con una herramienta cilíndrica vaciada de cobre electrolítico. Se verificó que existen diferencias importantes cuando se fabrica con fluidos diferentes, manteniéndose constante todas las demás condiciones de operación. Se observó que hay grandes variaciones en la calidad de la pieza fabricada en función del fluido dieléctrico empleado. Importantes conclusiones relativas al uso de queroseno son presentadas.*

## PALABRAS CLAVE

Maquinado por descargas eléctricas, fluidos dieléctricos, acabado superficial.

## INTRODUCCIÓN

La fabricación por descargas eléctricas (EDM - Electric Discharge Machining) o fabricación por electroerosión, como es conocida todavía en la industria, es un proceso indicado en la fabricación de formas complejas en materiales que sean conductores eléctricos, especialmente aquellos de alta resistencia, difíciles de ser fabricados por procesos tradicionales.

Sus principales aplicaciones son: fabricación de matrices para estampado y fundición, hileras para trefiliación, expulsión, moldes de plástico, en fin, para el sector de herramienta en general (Cruz, 1999).

Los fluidos dieléctricos específicamente desarrollados para el proceso EDM son hidrocarburos altamente refinados o sintéticos. Existen innumerables características físicas y químicas que pueden ser usadas para definir e identificar el desempeño de cada fluido. En este trabajo serán abordadas las características más importantes en el proceso, en base a los datos suministrados por los fabricantes, ya que se trata de un trabajo de análisis de desempeño (Intech EDM, 1996).

Las características físico-químicas de los fluidos para EDM pueden o no influenciar el desempeño del proceso. Entre las características que tienen influencia decisiva están: resistencia dieléctrica, viscosidad, punto de fulgor y estabilidad a la oxidación. Otras características con poca o ninguna influencia en el desempeño del proceso son: olor, color y punto de fluidez. Actualmente, un factor importante tanto en la selección del fluido es la seguridad, como el al-

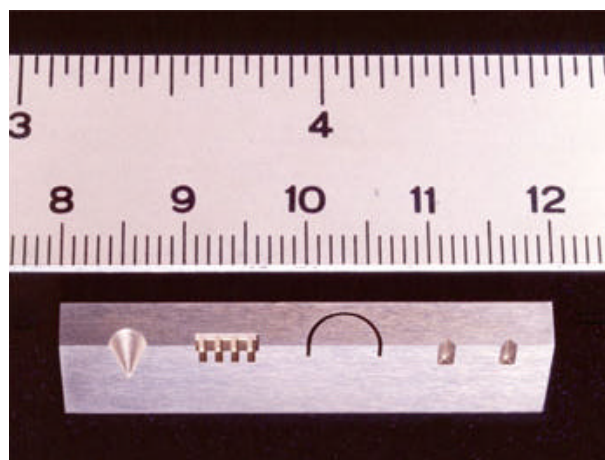


Fig. 1. Ejemplo de pieza de pequeñas dimensiones fabricadas por el proceso EDM.

macenamiento y uso en las operaciones de EDM. Un fluido que presenta características químicas que producen una elevada calidad en la superficie de la pieza fabricada y unas altas Tasas de Remoción de Material (TRM), puede ser nocivo para la salud del operador.

La cuestión de la calidad del ambiente de trabajo y de la salud ocupacional debe ser tomado en consideración debido a las legislaciones ambientales y del trabajo, debido a que los fluidos dieléctricos más tóxicos pueden causar problemas serios de dermatitis e intoxicaciones por la inhalación del producto evaporado (Intech EDM, 1996).

## OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es discutir y analizar algunos de los factores más importantes que influyen en el proceso de fabricación por descargas eléctricas, además de evaluar el desempeño de algunos fluidos dieléctricos comerciales en Brasil, sus características y posibles aplicaciones.

La principal justificación para la realización de este trabajo se basa en el hecho de que existe la necesidad de literatura dirigida a la industria, que oriente sobre cuál fluido dieléctrico es más indicado para cada aplicación (acabado, desbaste o corte, semi-acabado, tipo diferente de material). Eso fue evidente durante la búsqueda de artículos sobre el tema, dada la dificultad de encontrar trabajos respecto al uso del fluido dieléctrico en la fabricación por electroerosión.

Por lo tanto, se espera que este trabajo contribuya tanto para la industria como para la orientación de nuevos estudios académicos.

## FLUIDO DIELECTRICO

Los fluidos dieléctricos pueden ser: Queroseno, hidrocarburo activado - ambos derivados del petróleo- agua desionizada y hasta ciertas soluciones acuosas.

Conforme Fuller (1989), el fluido dieléctrico tiene un papel fundamental en el proceso: controlar la potencia de abertura de la descarga. Además ejerce otras dos funciones en el proceso: promueve el lavado de la interfase herramienta-pieza (gap), arrastrando hacia fuera las partículas erosionadas y auxilia en el enfriamiento del sistema, en los alrededores de las descargas.



Fig. 2. Pieza de grandes dimensiones y forma compleja fabricadas por el proceso EDM.

El arrastre adecuado es muy importante para el desempeño optimizado del proceso, siendo el gran responsable por la presencia de una capa refundida más o menos profunda. Una adecuada capacidad refrigerante permite un enfriamiento relativamente rápido de las partículas erosionadas, evitándose así un aumento de partículas que volverán a solidificarse e integrar el material constituido de la capa refundida, lo que acaba por ser muy perjudicial a la integridad superficial de la pieza.

**PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

En la figura 3, se presentan en forma esquemática, las diversas etapas para la ejecución de este trabajo.

Los regímenes de fabricación utilizados en los ensayos fueron tres: corte severo, medio y ligero.

Para cada régimen, teóricamente se espera que calidades diferentes de los aceites dieléctricos promuevan rendimientos diferenciados en las tasas de remoción de material, rigidez dieléctrica y acabado superficial. Se utilizó el manual de la máquina EDM para la determinación de las variables más adecuadas para nuestra investigación. Las variables están detalladas en la tabla I mostrada a continuación:

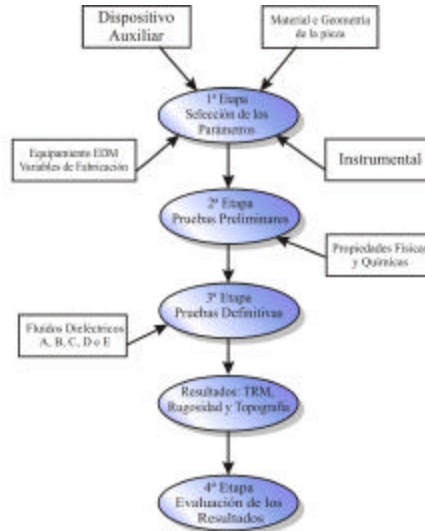


Figura 3. Esquema del diagrama de bloques para la metodología.

Tabla I. Parámetros utilizados en las pruebas definitivas.

Régimen	T <sub>on</sub> (ms)	D <sub>T</sub> (%)	T <sub>s</sub>	Corriente (A)	Tensión (V)
Corte severo	400	95	6	20	60
Corte medio	200	95	4	15	50
Corte ligero	75	90	3	10	40

T<sub>on</sub> = tiempo descarga (ms); D<sub>T</sub>=(T<sub>on</sub>/tiempo total)x100 (%);  
T<sub>s</sub> = Potencia eléctrica de la descarga.

En base a datos dados por los fabricantes de los fluidos dieléctricos fue realizada una investigación de mercado sobre los precios de los diferentes fluidos analizados. La información reunida es mostrada en la Tabla II.

Tabla II. Precios de mercado para los fluidos probados.

Fluido Dieléctrico	Precio de mercado (US\$/Litro)
Acete A	1,96
Acete B	0,88
Acete C	1,28
Acete D	1,68
Acete E	0,60

En la tabla III se muestran las características típicas de los fluidos eléctricos seleccionados para las pruebas.

Tabla III. Características típicas de los fluidos dieléctricos utilizados en las pruebas.

Propiedades	Aceite A	Aceite B	Aceite C	Aceite D	E Queroseno
Color ASTM (D-1500)	L 0,5	L1	L1	L1	L1
Densidad a 20°C (D-4052)	0,843	0,760	0,782	0,80mín - 0,844máx	0,76mín - 0,82máx
Punto de Fluidez, °C (D-97)	-12	----	3	----	----
Viscosidad cSt a 40°C (D-445)	3,7	2,3 mín - 2,5 máx	2,54	2,5mín - 2,8máx	1mín - 2máx
Viscosidad cSt a 100°C (D-445)	1,4	----	----	----	----
Punto de Ignición, °C (D-92)	130	110	110	100	40

Utilizando los parámetros seleccionados en la tabla I, se inició la 3ª etapa, donde fueron evaluados tanto la rugosidad media aritmética (Ra) y el análisis topográfico. Para la realización de las mismas se utilizaron los siguientes equipos

- Rugosímetros SURTRONIC 3+ Rank Taylor Hobson.
- Microscopio de barrido ZEISS LEO 940 A.

El total de piezas fabricadas o número total de ensayos es igual al número de régimen de fabricación (NR=3) veces el número de fluidos dieléctricos (NFD=5) veces el número de repeticiones (NR=5), dando un total de 75 operaciones de fabricación.

Un número de repeticiones de cada ensayo igual a cinco genera una mayor confiabilidad en los resultados, una vez que el proceso EDM es influenciado por varios factores, tales como humedad en el fluido dieléctrico, temperatura ambiente y del fluido, grado de contaminación por partículas erosionadas, grado de degradación del fluido, etc. los que modifican sensiblemente los valores de TRM y Rigidez dieléctrica (RD). Por tanto fueron realizados un total de setenta y cinco operaciones de fabricación, generando 150 entalles semicirculares.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Rugosidad Media Aritmética (Ra)

### y Topografía

Los resultados de las rugosidades medias aritméticas (Ra) para los tres regímenes de operación en la tabla IV.

Dentro de las regiones fabricadas con un largo Tabla IV: Rugosidades, Ra generados en el proceso EDM para las diferentes regiones de corte por los diferentes fluidos dieléctricos.

Fluido Dieléctrico	Regimén de corte		
	Ligero	Medio	Severo
Aceite A	6.4	7.6	9.6
Aceite B	5.9	9.7	9.4
Aceite C	6.0	9.5	12.8
Aceite D	6.8	9.8	9.8
Queroseno	6.5	10.4	12.7

de 4 mm se analizaron las rugosidades en una longitud de 2,5 mm. Para cada muestra fueron hechas 12 lecturas en el sentido del eje central de la misma.

En el régimen de corte ligero, tabla IV y figura 4, se notó una pequeña diferencia de rugosidad, de la orden de 15 %, entre la rugosidad generada con el aceite de mayor desempeño (aceite B) y el de peor desempeño (aceite D). Eso puede haber ocurrido por el hecho de que algunos aceites producen más vapor que otros, pues a mayor vaporización puede resultar una mayor cantidad de burbujas formadas durante las descargas eléctricas, lo que produce un acabado de baja calidad en la superficie fabricada, lo que se refleja en la rugosidad (Ra). Sin embargo, haciendo una observación detallada de las topografías de la figura 4, o sea, una vista superior de la superficie fabricada, con aumentos de 100x, se puede apreciar que entre los aceites A, B, C y D no hubo una considerable diferencia visual. El queroseno, a pesar de haber presentado menor rugosidad que el aceite D, mostró una topografía, con un número muy alto de burbujas de metal redepositado. Esto se debe a la excesiva evaporación del dieléctrico, ya que entre mayor es el número de burbujas durante cada descarga, asociado al hecho de una habilidad inferior de lavado y remoción rápida del

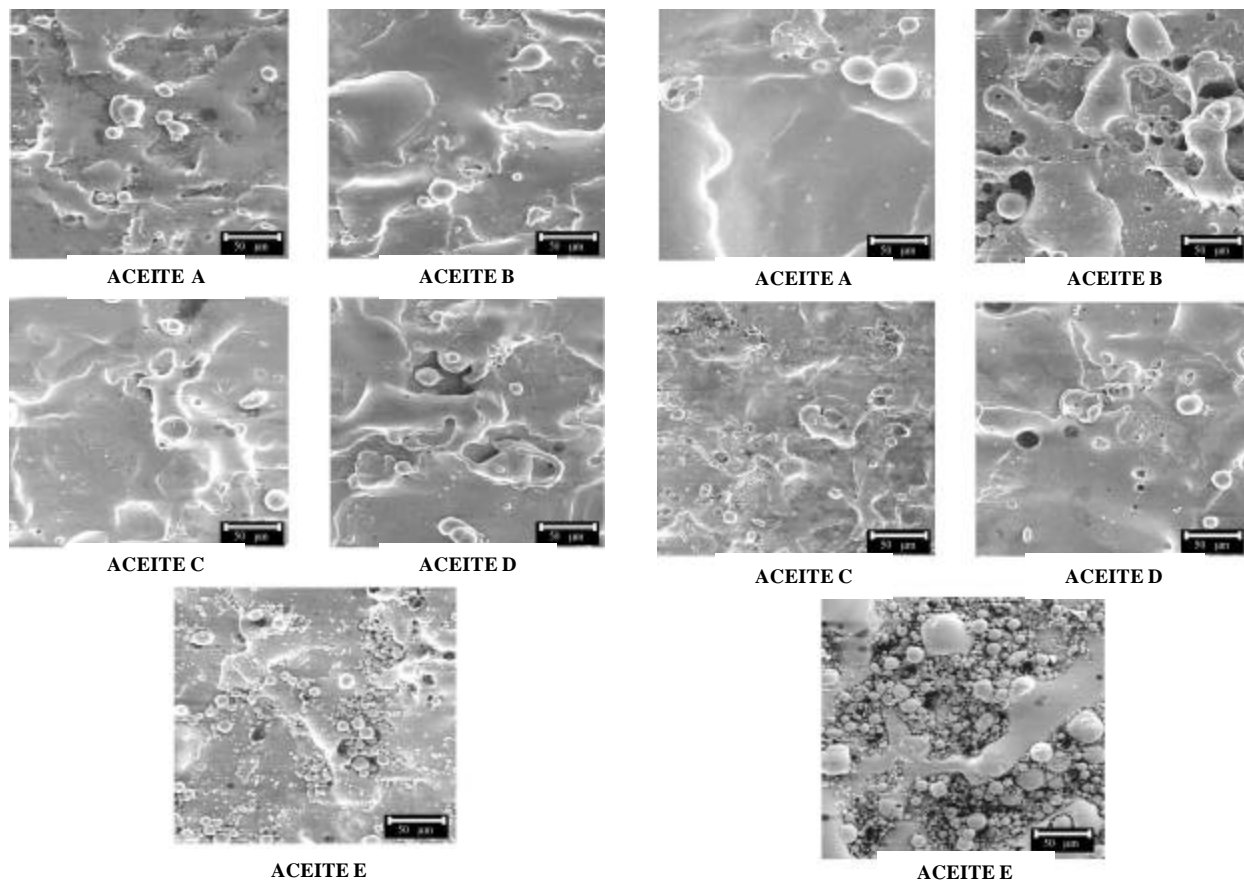


Fig. 4. Topografías obtenidas por MEV (aumento de 100x) de las superficies fabricadas por EDM con fluidos dieléctricos A, B, C, D y E en régimen de Corte Ligero.

Fig. 5. Topografías obtenidas por MEV (aumento de 300x) de las superficies fabricadas por EDM con fluidos dieléctricos A, B, C, D y E en régimen de Corte Medio.

calor de las partículas desprendidas después de la descarga eléctrica, se produce una peor calidad en la superficie fabricada. El queroseno mostró en el régimen de corte ligero la peor superficie fabricada, lo que perjudica principalmente piezas que trabajarán en contacto superficial y alta precisión geométrica. En las topografías se observa que las superficies generadas por los aceites A, B, C y D poseen una capa refundida o capa blanca homogénea.

Ya para el régimen de corte medio, tabla IV y figura 5, se notó una diferencia mayor entre los aceites, que llegó a 36% entre el aceite A y el aceite E. Se confirma, tabla IV, una tendencia importante: cuanto más severo es el régimen, más discrepante es el desempeño de los fluidos. Comparando esos resultados con los resultados de las topografías, figura 5, queda bien claro que el mejor desempeño fue

el aceite A, pues además de presentar menor rugosidad, presentó una capa refundida todavía más homogénea que la de los otros aceites, B, C y D.

De forma análoga, el queroseno presentó rugosidad inferior y se confirmó ese desempeño con las topografías, figura 5 (aceite E), con un elevado número de burbujas refundidas del material de la pieza, de diversos tamaños y formas.

En el régimen de corte severo, tabla IV y figura 7, se notó una diferencia de la orden de 36 % entre el aceite B y el aceite C, los cuales fueron los extremos del desempeño en términos de Ra. Una vez más el aceite A presentó buen resultado, siendo superado apenas por el aceite B. El queroseno presentó nuevamente un desempeño malo, sin embargo, cuando es comparado con las topografías de la figura 7, las superficies ya tuvieron una similitud mayor, y este

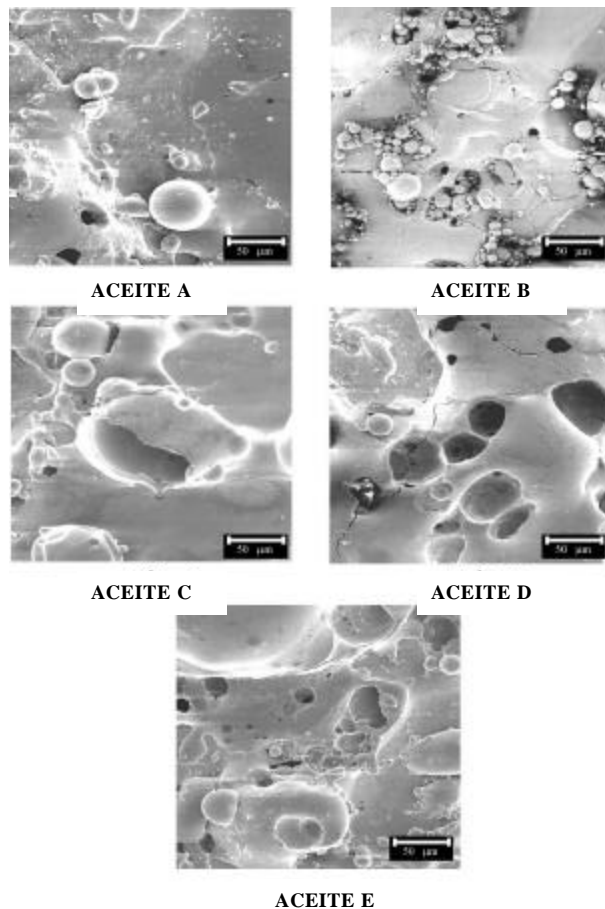


Fig. 7. Topografías obtenidas por MEV (aumento de 300x) de las superficies fabricadas por EDM con fluidos dieléctricos A, B, C, D y E en régimen de Corte Severo.

aceite mostró visualmente una superficie semejante a las de los demás aceites. En el caso de la figura 7b, se nota que en algunos puntos, la superficie está más rugosa y con mayor número de burbujas y micro rajaduras que en la superficie fabricada con queroseno. Aparentemente, en condiciones de régimen más severo, las diferencias de rugosidad y topografías van disminuyendo gradualmente.

Es importante resaltar que para todos los datos presentados en los gráficos, la variación del resultado de un ensayo para otro no fue mayor que 2 a 5 %, demostrando así buena confiabilidad en los resultados debido al pequeño desvío padrón.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados de las pruebas realizadas en piezas fabricadas mediante EDM utilizando diferentes fluidos dieléctricos y su posterior análisis se puede concluir que:

- No todos los fluidos dieléctricos específicos para EDM son recomendados para sustituir el queroseno, o por ser demasiado caro o por presentar mejor desempeño. Sin embargo, los aspectos de toxicidad y peligro en el manejo del queroseno reafirman que su uso como dieléctrico para EDM debe ser limitado en Brasil, así como ya sucede en Estados Unidos.
- Los fluidos dieléctricos presentan una gran inconsistencia en el desempeño en los 3 diferentes regímenes de fabricación, lo que muestra una considerable diferencia entre los mismos, a pesar de que todos presentan propiedades razonablemente similares en cuanto a viscosidad y densidad.
- El fluido dieléctrico E (queroseno), todavía muy utilizado en las industrias, presentó un débil desempeño en relación a los fluidos específicos para EDM, con relación todos los fluidos en todos los aspectos analizados (Ra y Topografía).
- Se verificó que el desempeño no está relacionado con el costo, un aceite más barato puede proporcionar mejor desempeño que un aceite más caro, a pesar de que el aceite de mejor desempeño es el más caro de todos.
- La gran diferencia de desempeño se debe mucho al proceso EDM, que es altamente dependiente de innumerables factores, donde hasta la humedad y la temperatura ambiente pueden afectar sensiblemente el proceso.

Se sugiere la creación de normas de desempeño para fluidos dieléctricos para EDM, como ocurre para aceites lubricantes. Así, se sabrá desde la compra cuál es el aceite más indicado para el tipo de trabajo, material fabricado, material de la herramienta y condiciones de corte.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al MIT (Massachusetts Institute of Technology), Boston, MA, EUA; a través del Profesor Daniel Roos, por el acceso libre a sus bibliotecas para la realización de la revisión bibliográfica de este trabajo y al CNPq, por el financiamiento de la visita.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Allison, Sam; 2000, The Case For Additive Technology In EDM, ONLINE ARTICLE From the Editorial Staff of Modern Machine Shop. Internet adress: [www.mmsonline.com/articles](http://www.mmsonline.com/articles)
2. Benedict, G. F.; 1987 Nontraditional Manufacturing Processes, New York, Marcel Dekker, pp.207-246.
3. Bhattacharyya, A.; 1973 New Technology, Hooghly Printing Company, Calcutá, pp. 144- 177.
4. Cruz, C., Malaquias, E. S., Fernandes, L. A., 1999, Introdução à Usinagem Não Tradicional, DEEME, UFU, Uberlândia-MG, pp. 7-19.
5. EDM Today, January/Fabruary 1999 Issue, The Electrodes Tell the Story. Internet adress: [www.edmtoday.org](http://www.edmtoday.org)
6. Fernandes, A. Luciano; 1999, Efeito da Adição de Pó 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 págs.
7. Field, M., Kahles, J. F., Koster, W. P., Surface Finish and Surface Integrity, Metcut Research Associates Inc., Metals handbook – 9<sup>th</sup> Ed., Machining, Vol. 16, pp. 19-36.
8. Fuller, J. E., 1989, Electrical Discharge Machining, Metals Handbook, 9<sup>th</sup> Ed. Vol. 16, machining, pp. 557-564.
9. Guitral, E. Bud, 1997, The EDM Handbook, Hanser Gardner Publication, Cincinnati, 306 pp.
10. Intech EDM, 1996, A Guide to Understanding and Selecting EDM Dielectric Fluids, Broadview, IL. Internet adress: [www.edmtalk.com](http://www.edmtalk.com)
11. Kaminski, P. C.; Capuano, M. N.; 1999, Revista OESP Metal-Mecânica, Ano 4, n<sup>o</sup> 25, OESP Mídia, São Paulo, p.p. 42-47.
12. McGeough, J. A.; 1988, Advanced Methods of Machining, London, Chapman and Hall, pp.128-152.
13. 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.
14. Weller, E. J.; 1984, Nontraditional Manufacturing Processes, Dearborn, Michigan, Society of Manufacturing Engineers, pp. 162-201, 1984.