



**PARÂMETROS DE PROCESSO PARA ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO EM  
REGIME DE ACABAMENTO APLICADO A LIGA DE ALUMÍNIO AMP 8000  
UTILIZANDO ELETRODOS-FERRAMENTA DE GRAFITE**

**Fred L. Amorim**

Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR, Curso de Engenharia Mecânica, LAUS  
famorim@rla01.pucpr.br

**Walter L. Weingaertner**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, EMC-LMP  
wlw@emc.ufsc.br

***Resumo:** No Brasil e na Europa são tradicionalmente utilizados eletrodos-ferramenta de cobre eletrolítico, ao passo que nos Estados Unidos o grafite é o material mais utilizado na fabricação dos eletrodos. Atualmente, em todo o mundo, existe uma tendência crescente de utilização do grafite pelo fato do mesmo apresentar certas vantagens em relação ao cobre. Além disso, os fabricantes desse material têm oferecido com preço competitivo ao mercado consumidor classes de grafite cada vez melhores. Recentemente ligas de alumínio de alta resistência, como a liga Alimex AMP 8000, vêm sendo amplamente adotadas como material alternativo ao aço na fabricação de moldes de injeção de pequenos e médios lotes de produtos plásticos. Neste trabalho foram realizados ensaios experimentais de eletroerosão por penetração sob condições de usinagem de acabamento na liga AMP 8000 utilizando grafite como material do eletrodo-ferramenta, visando ao estabelecimento de parâmetros adequados de processo. Os testes demonstraram que as maiores taxas de remoção de material ( $V_w$ ) são obtidas para usinagem com polaridade negativa do eletrodo e os menores níveis de desgaste volumétrico relativo ( $\theta$ ) são obtidos para polaridade positiva do eletrodo.*

***Palavras-chave:** Eletroerosão, Eletrodos de grafite, Liga AMP 8000, Parâmetros de processo.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A tecnologia de produção de peças moldadas por injeção de materiais plásticos apresenta-se como um processo de manufatura altamente competitivo e vantajoso, como tem sido evidenciado pelo grande interesse da indústria e por pesquisadores no ambiente acadêmico. A moldagem por injeção abrange uma grande variedade de produtos, desde a produção de peças de grande porte para as indústrias automobilísticas e de bens de consumo, pequenas peças para a indústria de equipamentos elétrico/eletrônicos até a produção de peças em termoplásticos reforçados com fibras para a indústria aeronáutica. Segundo Malloy (1994), por estas razões e também devido a facilidade de se moldar peças de geometria altamente complexas, bem como a capacidade de produção de grandes lotes em tempos efetivos, têm feito que a indústria de injeção de materiais plásticos apresente um grande desenvolvimento.

Klocke (1998) relata que dois fatores de influência considerável na fabricação econômica de um molde de injeção são o profundo conhecimento das principais tecnologias envolvidas no ciclo de fabricação, em especial o fresamento e a usinagem por eletroerosão, e a correta especificação de um material que proporcione uma fabricação mais rápida do molde e simultaneamente promova o atendimento aos requisitos de projeto da peça injetada e do próprio molde. De acordo com ele,

atualmente novas ligas de alumínio de alta resistência têm sido amplamente utilizadas pela indústria como materiais alternativos para confecção de moldes de injeção de materiais plásticos. Este tipo de material vem sendo empregado em substituição aos aços na confecção de moldes de pequena e média produção e na fabricação de protótipos de moldes para injeção e sopro de materiais plásticos não abrasivos. As ligas de alumínio apresentam as características de boa resistência mecânica e alta condutividade térmica que possibilitam a redução do tempo do ciclo de moldagem do produto. Possuem também adequada resistência a corrosão contra a maioria dos materiais plásticos normalmente utilizados na indústria de moldagem. Em razão da alta condutividade térmica das ligas de alumínio ( $\cong 165$  W/mK), comparada a dos aços normalmente utilizados para moldes ( $\cong 30$  W/mK), os parâmetros de eletroerosão ótimos para a usinagem dos aços geralmente não produzem os mesmos resultados quando aplicados as ligas de alumínio.

Vários trabalhos (Zolotykh, 1970; Van Dijk, 1973; Crookall & Khor 1974; Dibitonto et al, 1989 e König & Klocke, 1997) apresentam que a eletroerosão por faísca (*Electrical Discharge Machining - EDM*) é preponderantemente um processo térmico de usinagem. Durante o processo sucessivas descargas elétricas são geradas por curtos intervalos de tempo entre dois materiais condutores de eletricidade (eletrodo-ferramenta e eletrodo-peça), removendo por fusão e evaporação pequenas quantidades de material. Em decorrência disto, as várias propriedades termofísicas do material do eletrodo-ferramenta, como por exemplo as temperaturas de fusão e de vaporização e o coeficiente de dilatação térmica, influenciam consideravelmente no rendimento do processo de EDM.

No Brasil e na Europa são tradicionalmente utilizados eletrodos-ferramenta confeccionados em cobre eletrolítico, ao passo que nos Estados Unidos o grafite é o material mais utilizado na fabricação dos eletrodos. Atualmente, em todo o mundo, existe uma tendência crescente de utilização do grafite, pelo fato do mesmo apresentar certas vantagens em relação ao cobre. Pode-se citar a boa usinabilidade, a baixa densidade e o pequeno coeficiente de dilatação térmica desse material. Além disso, os fabricantes têm oferecido com preço competitivo ao mercado consumidor classes de grafite cada vez melhores, possibilitando a eletroerosão sob regime de acabamento em condições de baixo nível de energia. Entretanto, as indústrias de ferramentaria brasileiras possuem pouco conhecimento sobre a utilização deste material como eletrodo-ferramenta.

Este trabalho investigou experimentalmente a influência da polaridade de eletrodos-ferramenta de grafite com granulação de 10 [ $\mu$ m] sobre o rendimento do processo de eletroerosão por penetração aplicado a liga de alumínio AMP 8000 em condições de acabamento do processo, visando ao estabelecimento de parâmetros adequados de processo. A designação AMP 8000 é de uma liga de alumínio de alta resistência mecânica recentemente lançada no mercado pela empresa alemã *ALIMEX Metallhandelsgesellschaft GmbH*. A composição química típica para este material é 4,3-5,2 % Zn, 2,6-3,7 % Mg, 0,5-1,0 % Cu e o restante de alumínio. Apresenta densidade de aproximadamente 2830 kg/m<sup>3</sup>, dureza de 174 HB e condutividade térmica de 165 W/mK.

Por serem aspectos de fundamental importância no rendimento da eletroerosão, após os ensaios foram analisados os seguintes resultados tecnológicos do processo: taxa de remoção de material da peça ( $V_w$ ) em mm<sup>3</sup>/min, desgaste volumétrico relativo entre o par de eletrodos ( $\theta$ ) e a textura superficial da peças ( $R_z$ ).

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes de usinagem foram realizados no Laboratório de Usinagem-LAUS da Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PUCPR utilizando uma máquina do fabricante Charmilles modelo Roboform 30 CNC. Inicialmente, foram desenvolvidos testes piloto sobre os parâmetros elétricos ( $i_e$ ,  $t_e$ ,  $t_o$ ) com o intuito de estabelecer uma amplitude adequada de variação desses parâmetros, assegurando desta forma um rastreamento geral do comportamento de usinabilidade da liga AMP8000 para o estabelecimento de gráficos representativos sobre o rendimento do processo.

Os corpos de prova da liga de alumínio AMP 8000 foram confeccionados com seção transversal de 25 X 25 mm e espessura de 20 mm, sendo retificados na superfície a ser eletroerodida

( $R_a = 2\mu\text{m}$ ). Foram utilizados eletrodos-ferramenta na forma de barras cilíndricas de grafite com 100 mm de comprimento, diâmetro externo de 20 mm e furo central com 4 mm de diâmetro. Este material é fabricado pela *SGL Carbon Group* (Bonn, Alemanha) e possui as propriedades apresentadas na Tab. (1). A lavagem das partículas eletroerodidas foi garantida pela injeção sob pressão de 1,5 psi do fluido dielétrico Arclean Electron produzido pela Archem Química Ltda através do furo central do eletrodo.

Tabela 1. Propriedades do grafite utilizado nos ensaios

Granulação	10 $\mu\text{m}$ (superfina)
Diâmetro dos poros	1,5 $\mu\text{m}$
Porosidade aberta	13 %
Condutividade térmica	80 W/mK
Dilatação térmica	$3,9 \times 10^{-6}/\text{K}$
Resistência à flexão	50 N/mm <sup>2</sup>
Resistividade elétrica	12 $\mu\Omega\text{m}$
Densidade	1,77 g/cm <sup>3</sup>

A Tabela (2) destaca a amplitude de variação dos parâmetros elétricos utilizados nos testes. A relação de contato ( $\tau$ ), dada pela razão entre o tempo de pulso ( $t_i = t_e + t_d$ ) e o período de uma descarga, foi mantida em 0,5 para garantir boa estabilidade do processo. O tempo de retardo de ignição da faísca ( $t_d$ ) foi determinado como sendo 30 % da duração da descarga ( $t_e$ ) para todos os testes. Para as correntes de descarga de 8, 6 e 3 [A] estabeleceu-se a tensão em aberto ( $\hat{u}_i$ ) de 160 V e para  $\hat{i}_e=2$  [A] determinou-se  $\hat{u}_i$  no nível de 200 V, com a finalidade de aumentar a fenda de trabalho melhorando as condições de lavagem para garantia da boa estabilidade do processo.

Tabela 2. Parâmetros elétricos de usinagem da liga AMP 8000 com eletrodos de grafite

corrente descarga $\hat{i}_e$ [A]	duração descarga $t_e$ [ $\mu\text{s}$ ]	tempo intervalo $t_0$ [ $\mu\text{s}$ ]	Polaridade elet.- ferramenta	modo de atuação do gerador
8 e 6	6,4; 12,8; 25; 50; 100	6,4; 12,8; 25; 50; 100	(+) e (-)	pulso estático retangular
3	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	(+) e (-)	pulso estático retangular
2	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	(-)	pulso estático retangular
2	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	3,2; 6,4; 12,8; 25; 50	(-)	circuito de relaxação

Para a quantificação precisa de  $V_w$  e  $\eta$ , empregou-se uma balança de precisão (resolução de 0,0001 g) para a medição da massa de cada um dos corpos de prova e dos eletrodos ferramenta, antes e após um tempo médio de ensaio de 20 minutos. Da mesma forma, os eletrodos de grafite forma secados em estufa por um período de 5 horas sob 150 °C antes e após os ensaios para evaporar toda a umidade absorvida. Assim, quantificando mais precisamente a taxa de desgaste do eletrodo ( $V_e$ )

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura (2) apresenta os resultados referentes a taxa de remoção de material e ao desgaste volumétrico relativo obtidos para a corrente de descarga ( $\hat{i}_e$ ) de 8 [A] sob usinagem com polaridade

positiva e negativa dos eletrodos de grafite. As curvas mostram claramente que a taxa de remoção de material ( $V_w$ ) é maior para eletrodo-ferramenta com polaridade negativa, onde para todos os ensaios realizados foi obtido o máximo valor de  $V_w$  da ordem de 35 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ]. Cabe acrescentar que sob polaridade negativa do eletrodo observa-se que a variação da duração da descarga ( $t_e$ ) até 25 [ $\mu\text{s}$ ] promoveu taxas de remoção de material praticamente constantes, assim como também o desgaste volumétrico relativo ( $\mathcal{Q}$ ) permaneceu praticamente inalterado.

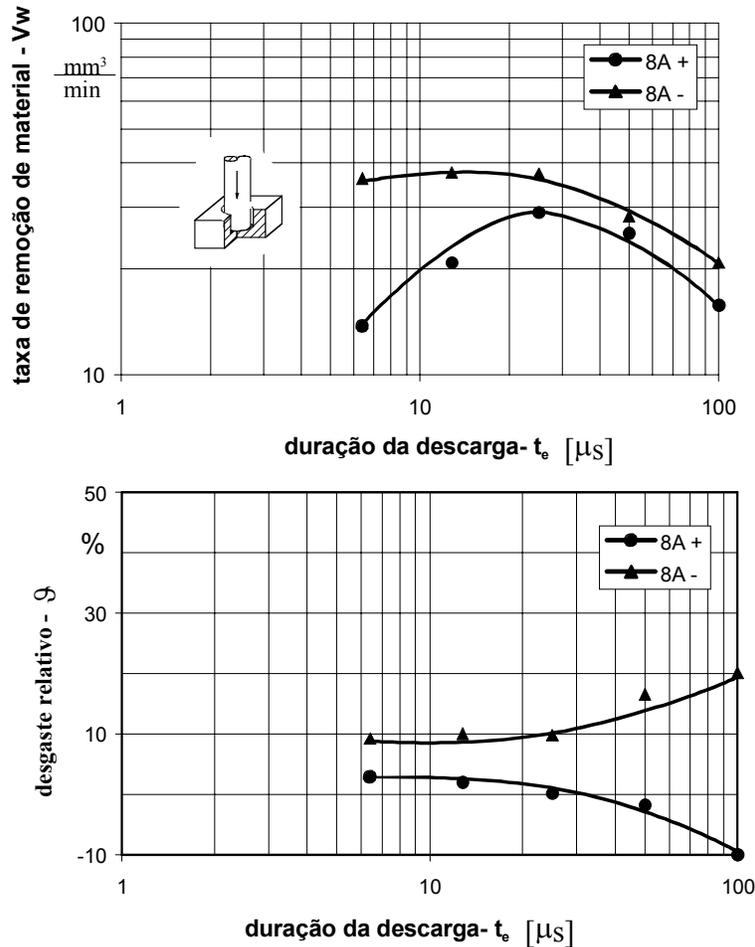


Figura 2. Curvas de  $V_w$  e  $\mathcal{Q}$  para a liga AMP 8000 para  $i_e$  de 8 [A].

Acima deste nível de  $t_e$  nota-se uma situação desfavorável com aumento crescente do desgaste volumétrico relativo ( $\mathcal{Q} = V_e/V_w$ ) bem como diminuição acentuada de  $V_w$ . Os menores valores do desgaste relativo foram obtidos até  $t_e$  de 25 [ $\mu\text{s}$ ], sendo da ordem de 10 %. A explicação para este comportamento do processo pode estar relacionada a dois fatos. O primeiro é que tempos de descarga ( $t_e$ ) maiores que 25 [ $\mu\text{s}$ ] ocasiona instabilidade do canal de plasma para o nível de corrente de 8 [A]. O segundo fato se deve a deposição de uma camada negra sobre as peças, proveniente dos subprodutos do dielétrico e carbono do próprio eletrodo. Assim os dois fatos agindo paralelamente proporcionam uma queda substancial de  $V_w$  e aumento contínuo do desgaste do eletrodo  $V_e$ , e portanto aumento de  $\mathcal{Q}$ .

Para EDM sob polaridade positiva percebe-se claramente um aumento gradual de  $V_w$  em função da duração da descarga ( $t_e$ ). A máxima taxa de remoção de material de aproximadamente 20 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ] é atingida para um  $t_e$  ótimo de 25  $\mu\text{s}$ . Para valores superiores ao  $t_e$  ótimo os níveis de  $V_w$  decaem continuamente decorrente da instabilidade do canal de plasma. Para variação de  $t_e$  até 25 [ $\mu\text{s}$ ] o desgaste volumétrico relativo ( $\mathcal{Q}$ ) apresenta-se extremamente baixo, algo em torno de 2 %. Para tempos de descarga mais longos o desgaste tende a diminuir, apresentando até valores

negativos. Isto pode estar relacionado a aderência de partículas eletroerodidas de alumínio juntamente com carbono da queima do dielétrico sobre a superfície do eletrodo de grafite, fato que aumenta a massa do eletrodo-ferramenta e mascara os reais valores de  $\vartheta$ . Cabe colocar que esta hipótese não foi verificada visualmente. Na curva de desgaste relativo ( $\vartheta$ ) apresentada na parte inferior da Fig. (2) observa-se que os valores de  $\vartheta$  são relativamente elevados para polaridade negativa, sendo bem superiores àqueles obtidos para polaridade positiva.

Nos ensaios realizados com corrente de descarga de 6 [A] foram obtidos os resultados apresentados na Fig. (3). Verificou-se que para duração de descarga ( $t_c$ ) de 25 [ $\mu$ s] a taxa de remoção de material ( $V_w$ ) apresenta valores similares para polaridade positiva e negativa da ordem de 20 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ]. Porém os valores de  $V_w$  são invariavelmente maiores para polaridade negativa. O tempo de descarga ótimo para 6 [A] negativo está entre 6,4 e 12,8 [ $\mu$ s], alcançando-se taxa de remoção de material máxima de aproximadamente 25 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ]. Para usinagem sob 6 [A] positivo o  $t_c$  ótimo foi nitidamente de 25 [ $\mu$ s] e  $V_w$  em torno de 20 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ].

O desgaste volumétrico relativo para polaridade negativa do eletrodo é bem superior àqueles encontrados para usinagem com polaridade positiva dos eletrodos. No primeiro caso, 6 [A] negativo,  $\vartheta$  se situa em 10 % até  $t_c$  de 25 [ $\mu$ s] e logo após aumentando até 20 % para  $t_c$  em 100 [ $\mu$ s]. Para polaridade positiva os valores de  $\vartheta$  são extremamente baixos, algo próximo de 1 % até  $t_c = 25$  [ $\mu$ s]. Para tempos de descargas mais longos os valores de  $\vartheta$  tendem a apresentar um leve aumento até aproximadamente 3 %.

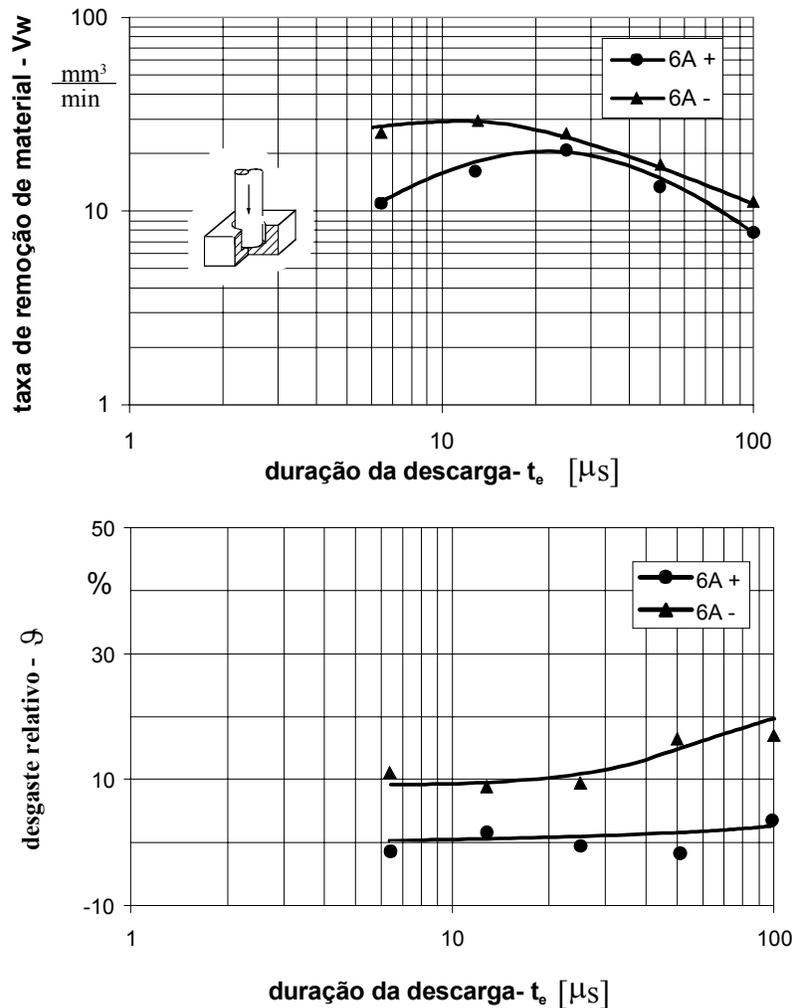


Figura 3. Curvas de  $V_w$  e  $\vartheta$  para a liga AMP 8000 para  $i_c$  de 6 [A].

A usinagem sob corrente de 3 [A] e tempo de descarga ( $t_e$ ) variando entre 3,2 e 50 [ $\mu$ s] proporcionou a obtenção dos resultados mostrados na Fig. (4). Para polaridade do eletrodo em negativo verifica-se uma gradativa diminuição da taxa de remoção de material ( $V_w$ ) com o aumento do tempo de descarga ( $t_e$ ) a partir de 6,4 [ $\mu$ s]. O tempo ótimo de  $t_e$  está entre 3,2 e 6,4 [ $\mu$ s], promovendo  $V_w$  máximo de aproximadamente 10 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ]. O desgaste volumétrico relativo situa-se em 25 % para o valor ótimo de  $t_e$ .

Para eletrodo com polaridade positiva, verifica-se menores taxas de remoção de material em relação a usinagem com polaridade negativa, sendo a duração ótima da descarga entre 6,4 e 12,8 [ $\mu$ s] onde alcançou-se valores de  $V_w$  próximos de 7 [ $\text{mm}^3/\text{min}$ ] e diminuição gradual do desgaste relativo ( $\vartheta$ ). Para duração de descarga entre 12,8 e 25 [ $\mu$ s] observa-se um brusco aumento de  $\vartheta$ . Isto acontece provavelmente devido a uma maior taxa desgaste do eletrodo ( $V_e$ ) nestas faixas de tempos de descarga, sem que haja variações bruscas na taxa de remoção de material da peça ( $V_w$ ).

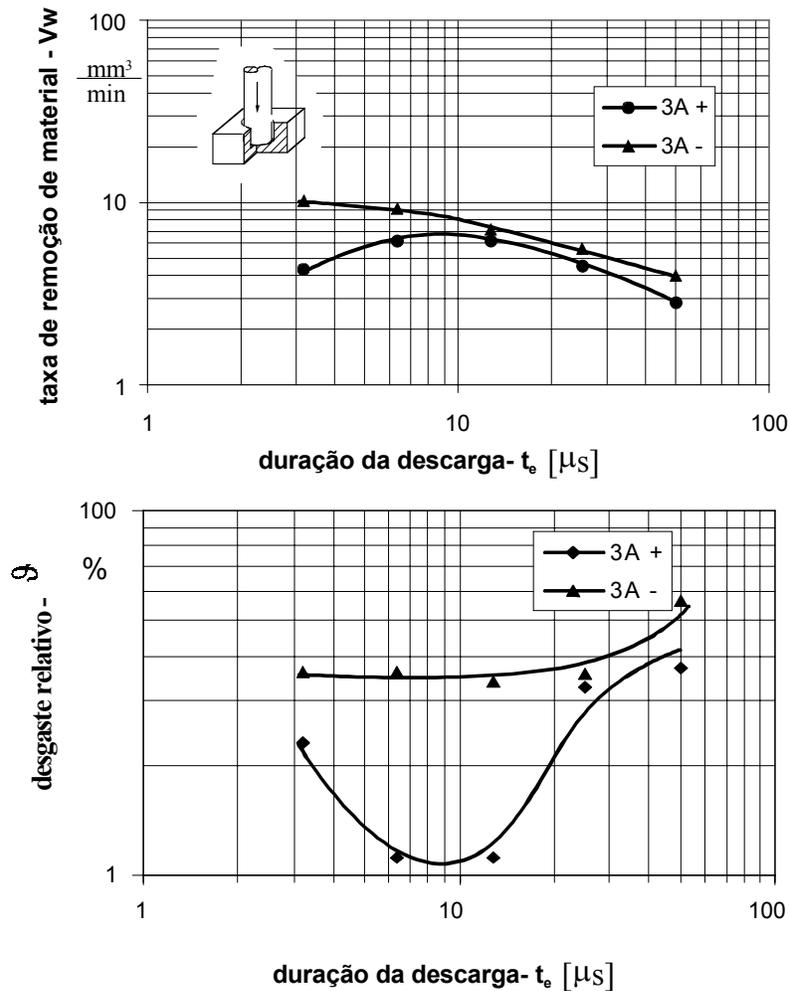


Figura 4. Curvas de  $V_w$  e  $\vartheta$  para a liga AMP 8000 para  $i_e$  de 3 [A].

A Figura (5) mostrar as curvas de  $V_w$  e  $\vartheta$  para usinagem com 2 [A] de corrente de descarga sob dois modos de atuação do gerador para polaridade negativa do eletrodo-ferramenta. No primeiro, o gerador atua no modo de pulsos estáticos retangulares, onde a corrente de descarga ( $i_e$ ) atinge rapidamente o nível especificado pelo operador. Neste modo de atuação permanece certa quantidade de carga elétrica residual nos eletrodos ao final de  $t_e$ , característica que pode prejudicar

o rendimento do processo, pelo fato de na próxima descarga ocorrer um pico de corrente que não pode ser controlado. No segundo, o gerador atua no modo de relaxação, formando um circuito oscilatório onde a corrente de descarga ( $i_e$ ) e a tensão de trabalho ( $U$ ) se invertem periodicamente até o descarregamento total da carga elétrica armazenada nos eletrodos. Normalmente o modo de relaxação promove a obtenção de melhor acabamento superficial das peças sob usinagem com baixo nível de energia.

Os gráficos mostram que a ótima duração de descarga ( $t_e$ ) para ambos os modos de atuação do gerador é de 3,2  $[\mu s]$  com  $V_w$  máximo em torno de 3  $[mm^3/min]$ . Para valores de  $t_e$  acima do ótimo os valores de  $V_w$  decaem substancialmente, como também observa-se um aumento contínuo do desgaste relativo ( $\vartheta$ ). De maneira geral observa-se altos níveis de desgaste relativo ( $\vartheta$ ) independente do modo do gerador, porém os valores de  $\vartheta$  para usinagem com gerador de relaxação são menos elevados que aqueles obtidos com gerador de pulsos estáticos. A provável causa do comportamento de  $V_w$  e  $\vartheta$  está relacionada a granulação média de 10  $[\mu m]$  do grafite utilizado nos ensaios. Para usinagem sob baixos níveis de energia a fenda de trabalho é extremamente diminuta assim como a lavagem se torna mais problemática. Desta forma as partículas liberadas pelo eletrodo de grafite durante o processo acabam por obstruir a fenda de trabalho. Em consequência são gerados arcos e curto-circuitos que aumentam o desgaste do eletrodo ferramenta. Uma possível solução para otimizar os níveis de  $V_w$  e  $\vartheta$  seria utilizar grafite com menor granulação.

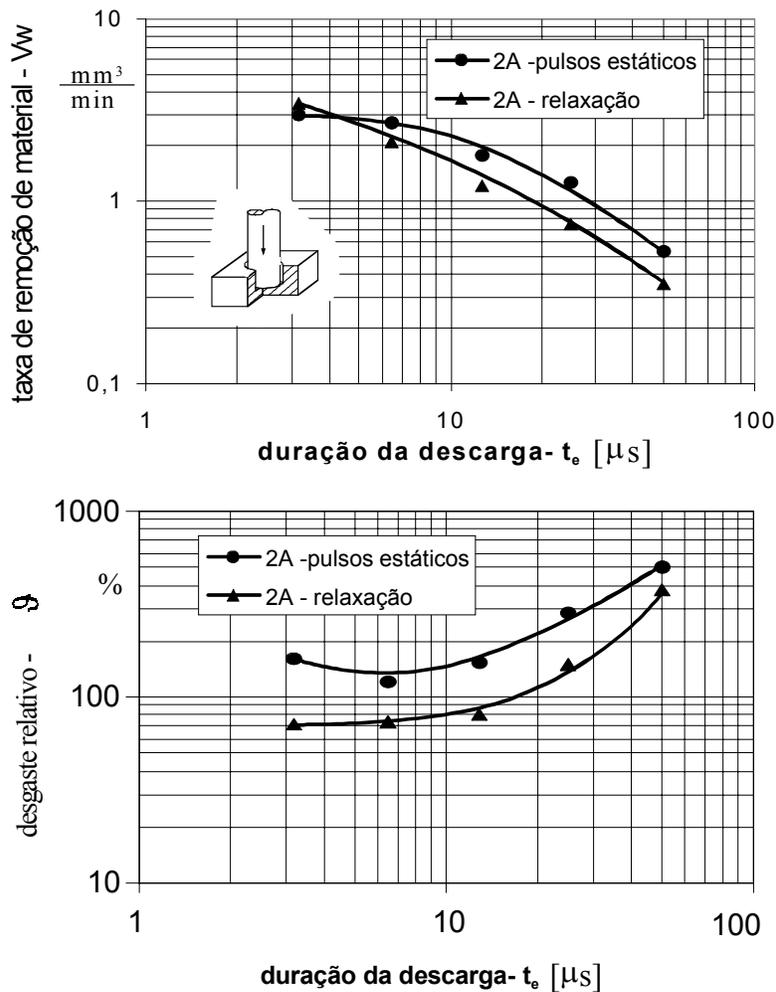


Figura 5. Curvas de  $V_w$  e  $\vartheta$  para a liga AMP 8000 para  $i_e$  de 2 [A].

Os resultados da rugosidade superficial para as correntes de descarga de 8, 6 e 3 [A] estão apresentados na Fig.(6a-b). Pode-se observar que indiferente da polaridade do eletrodo quanto

maior a corrente de descarga ( $\hat{i}_e$ ) mais elevada é a rugosidade superficial das amostras eletroerodidas. Da mesma forma, para uma corrente de descarga constante o aumento da duração da descarga ( $t_e$ ) ocasiona uma elevação da rugosidade. O melhores valores de rugosidade são obtidos para usinagem com polaridade positiva, sendo que para 3 [A] e  $t_e$  de 3,2  $\mu$ s foi obtido o valor mínimo de  $R_z$  em torno 12  $\mu$ m.

Para os ensaios realizados com corrente de 2 [A] obteve-se os mais baixos valores de rugosidade com acabamento superficial mais fino. Variações na duração da descarga ( $t_e$ ) não provocaram modificações expressivas no acabamento superficial como pode ser observado na Fig. (6c). A rugosidade superficial praticamente não sofreu alteração se comparada entre os ensaios com gerador no modo de relaxação e de pulsos estáticos.

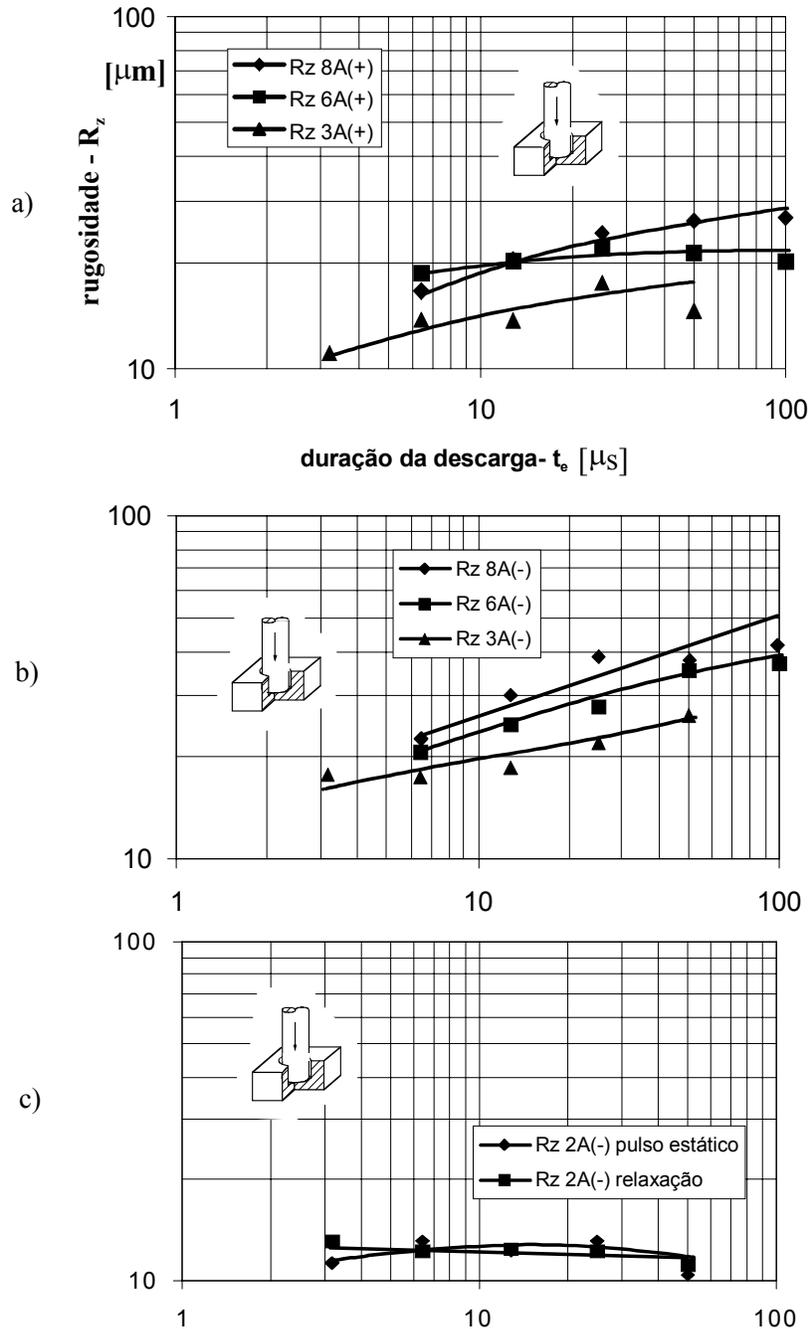


Figura 6. Curvas de rugosidade superficial ( $R_z$ ).

## 4. CONCLUSÕES

A investigação experimental do trabalho realizado com a utilização da liga de Alumínio AMP 8000 e de eletrodos de grafite com granulação de 10 [µm], permite apresentar conclusões sob dois aspectos: parâmetros de trabalho e integridade superficial.

### 4.1- Parâmetros de trabalho

- As maiores taxas de remoção de material ( $V_w$ ) são obtidas para usinagem com polaridade negativa do eletrodo.
- Máximo valor de  $V_w = 37,61$  [mm<sup>3</sup>/min] nas condições:  $\hat{i}_e = 8$  [A],  $t_e = t_o = 12,8$  [µs].
- Os menores níveis de desgaste volumétrico relativo ( $\vartheta$ ) são obtidos com polaridade positiva do eletrodo-ferramenta e maiores tempos de descarga ( $\hat{i}_e$ ).
- Maiores correntes de descarga ( $\hat{i}_e$ ) ocasionam menor desgaste relativo ( $\vartheta$ ), devido a maior abertura da fenda de trabalho. O material eletroerodido bem como partículas do eletrodo-ferramenta são mais facilmente evacuados pela lavagem.
- Em polaridade positiva e sob uma corrente aplicada de 6 e 8 [A] parece ocorrer deposição de material da peça no eletrodo-ferramenta para tempos de intervalo acima de 25µs.
- Os valores de  $V_w$  apresentam pouca diferença entre os dois diferentes modos de atuação do gerador (pulsos estáticos e de relaxação).
- Para  $\hat{i}_e = 2$  [A] o desgaste relativo ( $\vartheta$ ) obtido na usinagem com gerador de relaxação é menor que aquele para pulsos estáticos retangulares.

### 4.2 - Integridade superficial

- Duração de descarga ( $t_e$ ) em valores mais baixos proporcionam os melhores níveis do acabamento superficial.
- Menores valores de corrente ( $\hat{i}_e$ ) promovem a obtenção de melhor rugosidade das peças .
- Mínima rugosidade atingida  $R_a = 1,66$  [µm] sob os seguintes parâmetros:  $\hat{i}_e = 2$  [A] com polaridade negativa e gerador no modo de pulsos estáticos com  $t_e = t_o = 3,2$  [µs].
- Para a maioria dos ensaios com polaridade negativa do eletrodo observou-se a deposição de uma camada negra uniforme sobre a superfície das peças. Possivelmente este material é composto em maior parte de partículas decorrentes do desgaste do eletrodo-ferramenta e também carbono liberado pela queima do dielétrico.
- Não foram notadas diferenças expressivas no acabamento superficial das peças para ensaios com gerador no modo de pulsos estáticos e de relaxação para a corrente de 2 [A].

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a *SGL Carbon Group* (Bonn, Alemanha) pela doação das barras de grafite utilizadas neste trabalho e ao *WZL-RWTH - Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule* (Aachen, Alemanha) pela doação das amostras da liga AMP 8000.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Crookall, J.R., Khor, B.C., 1974, "Electro-discharge surfaces", Proceedings of the Fifteenth International Machine Tool Design and Research Conference, September 18-20, England, Vol.1, pp. 373-384.

- Dibitonto, D.D., Eubank, P. T., Mukunk, R. P., Barrufet, M.A., 1989, "Theoretical models of the electrical discharge machining process I: a simple cathode erosion model", Journal of Applied Physics, Vol. 66, No. 9, pp. 4095-4103.
- Klocke, F., 1998, "The process sequence in tool and diemaking", Proceedings of the International Symposium for Electromachining, May 11-13, Germany, Vol. 1, pp. 65-97.
- König, W., Klocke, F., 1997, Fertigungsverfahren - 3: Abtragen und Generieren, Springer, Berlin.
- Malloy, R.A. 1994, "Plastic part design for injection molding" Hanser Publication, USA
- Van Dijck, F., 1973, Physico-mathematical analysis of the electrodischarge machining process, doctoral thesis, faculty of applied sciences, Department of Mechanics, K.U. Leuven, Belgium.
- Zolotick B. N., 1970, "Phänomenologische theorie der funkenerosiven massbearbeitung, International Symposium for Electromachining, Vol.1, Vien, pp. 185-191.

## **PROCESS PARAMETERS FOR THE DIE-SINKING EDM UNDER FINISHING CONDITIONS APPLIED TO AMP 8000 ALUMINUM ALLOY USING GRAPHITE ELECTRODES**

### **Fred L. Amorim**

Pontifical Catholic University of Paraná-PUCPR, Mechanical Engineering, LAUS  
famorim@rla01.pucpr.br

### **Walter L. Weingaertner**

Federal University of Santa Catarina UFSC, EMC-LMP  
wlw@emc.ufsc.br

**Abstract:** *In Brasil and Europe electrolitic copper is historically used as material for EDM, but in the USA the major material is graphite. Nowadays in the whole world there is an increasing trend in applying graphite instead of copper as EDM electrodes. The reason to this fact is associated to some advantages of graphite as compared to copper in some practical cases. Recently high-strength aluminium alloys, like for example Alimex AMP8000, have been widely applied in substitution to the traditional steels as material for injection molding tools to produce short and medium batches of plastics products as well as prototyping injection tools. This work has developed an experimental investigation on the machinability of AMP 8000 using graphite electrodes under finishing conditions of EDMachining in order to obtain adequate parameters to the process. The tests showed better rates of  $V_w$  under negative polarity of the electrodes and lower volumetric relative wear ( $\mathcal{Q}$ ) to positive polarity.*