

AVALIAÇÃO DE DESGASTE DE ELETRODO NA USINAGEM POR ELETROEROSÃO UTILIZANDO SINAIS DE EMISSÃO ACÚSTICA

Samuel S. Ferreira

Luis H. A. Maia

João M. Cunha

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brasil.
samuelsoaresf@gmail.com, luismaia@pucminas.br, joaonepomuceno2012@gmail.com

Fred L. Amorim

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba – PR, Brasil.
fred.amorim@pucpr.br

Resumo. Eletroerosão é um processo não convencional de usinagem que se baseia na remoção de material por sucessivas descargas elétricas. Neste trabalho, propõe-se o estudo dos sinais de emissão acústica (EA) como indicador da taxa de desgastes do eletrodo na eletroerosão (EDM). Para tanto, foi realizado ensaios de EDM com dois parâmetros distintos e em paralelo a avaliação dos sinais de EA e o desempenho dos eletrodos durante cada operação. O primeiro teste de eletroerosão utiliza parâmetros mais agressivos ao eletrodo e peça comparados com o os parâmetros do segundo teste. Assim, obteve-se taxas de desgaste 2,4 vezes maior do eletrodo no primeiro teste em comparação ao segundo. Por fim, foi realizada a caracterização do processo e a análise dos sinais de EA da usinagem por meio das técnicas de transformada de Fourier de tempo curto (STFT). Feito isso, foi possível correlacionar os sinais EA com o comportamento de desgaste do eletrodo. Os resultados demonstraram que os sinais de emissão acústica são sensíveis à taxa de desgaste do eletrodo.

Palavras chave: Usinagem. Eletroerosão. EDM. Emissão Acústica.

1. INTRODUÇÃO

Eletroerosão (EDM) é um método não convencional de usinagem que utiliza descargas elétricas entre dois materiais submersos em um fluido dielétrico para remoção de material, imprimindo assim a forma simétrica do eletrodo na peça (Ferraresi, 1970). Pelos métodos EDM que podem ser utilizados (eletroerosão de penetração e a fio), é possível obter formas e curvas complexas o qual métodos tradicionais de usinagem (fresamento, torneamento, entre outros) não são capazes. Isso é devido ao EDM não ter contato físico entre eletrodo e peça. Contudo, a usinabilidade para eletroerosão independe da dureza do material, porém o mesmo necessariamente deve ser condutor elétrico (Amorim, 2002).

Parâmetros utilizados neste processo, como corrente elétrica aplicada, tensão aplicada, tempo de descarga, tempo entre descargas, polaridade, entre outros, influenciam diretamente no rendimento da usinagem, rugosidade superficial da peça final, tolerâncias dimensionais, como também na taxa de desgaste e vida útil do eletrodo (Abbas, 2006).

O processo de usinagem por eletroerosão ideal seria obter a remoção de material apenas na peça, permitindo que todas as peças sejam produzidas pelo mesmo eletrodo com as mesmas dimensões e acabamento superficial. Porém, o eletrodo também perde material durante a usinagem ao ser bombardeado de íons provenientes das sucessivas descargas elétricas. Desta forma, procura-se os parâmetros ideais para obter as peças nos parâmetros de projeto com o menor desgaste do eletrodo (Diniz, 2009). Este objetivo é necessário para eficiência do processo, diminuindo o consumo de matéria prima para a fabricação de eletrodos e reduzindo a produção de peças incompatíveis com projeto (peças descartadas), contribuindo para uma manutenção econômica e ambiental mais favorável.

A utilização de EA como método de monitoramento do desgaste do eletrodo em EDM é bem visto para acompanhamento da produção de peças durante a usinagem sem afetar a continuidade do processo, ao modo que não temos hoje nenhum mecanismo de monitoramento com esta função.

STFT é a aplicação da Transformada de Fourier para determinar a frequência excitadas e a respectiva amplitude do sinal estudado ao decorrer do tempo, ou seja, conforme o sinal se altera em função do tempo. Método simples e prático de representação de tempo espectral de um sinal (Schofield, 1959 e Tan, 2008). Para construir uma STFT bidimensional a partir de uma função unidimensional do tempo, o sinal de entrada é segmentado em blocos de mesmo tamanho. Cada bloco selecionado é uma amostra que se aplica a transformada de Fourier para cálculo das frequências presentes (Dukes, 1984). Neste método assume-se que a composição da frequência do sinal é invariante no tempo dentro da duração de cada bloco, mas pode variar entre os blocos (Vaseghi, 2006). O espectro de frequência do bloco de sinal m é dado pela transformada discreta de Fourier apresentado pela Eq. 1, onde $X(k,m)$ é uma representação de tempo

espectral com índice de quadros discretos m e índice de frequência discreta k , N é o número de amostras em cada bloco e D é a sobreposição de blocos (Smith, 2013).

$$X(k, m) = \sum_{i=0}^{N-1} \omega(i) x[m(N-D) + i] e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)ik}, K = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

Desta maneira, este trabalho foca no desgaste do eletrodo que está relacionado com as frequências do sinal de Emissão Acústica (EA) fornecida durante a usinagem. Para o objetivo, utiliza-se sensor piezoelétrico para capturar os sinais de EA, e em seguida o tratamento do sinal com a Transformada de Fourier de Tempo Curto (STFT), relacionando os sinais captados com o desgaste do eletrodo ao longo do processo de eletroerosão na peça.

2. METODOLOGIA

Para os experimentos, foram utilizados eletrodos cilíndricos de cobre eletrolítico (Fig. 1 - a), tendo como diâmetro padrão 15 mm e comprimento útil de 36 mm e uma peça de aço AISI H13 (Fig. 1 - b) como um corpo de prova de 48 mm de comprimento, 47 mm de largura e 22 mm de altura. Com o material selecionado, foram realizados os dois testes na mesma máquina EDM, apresentada na Fig. 2, utilizando o dielétrico de hidrocarboneto hidrogenado. Cada um dos testes utilizou parâmetros distintos. Para o primeiro teste: tempo de duração do pulso de tensão t_e de 400 μ s, tempo de intervalo entre dois sucessivos pulsos de tensão t_o em 50 μ s, uma potência para corrente TS (Transistor Standard) igual a 11,5 da máquina e eletrodo com polaridade positiva. Para o segundo teste: tempo de duração do pulso de tensão t_e em 13 μ s, tempo de intervalo entre dois sucessivos pulsos de tensão t_o em 6,5 μ s, uma potência para corrente TS igual a 3 e eletrodo também com polaridade positiva.

Ainda, alguns parâmetros foram idênticos para os dois experimentos: tempo de erosão de 1 segundo, afastamento do eletrodo em relação à superfície da peça de 1 mm a cada período de erosão para recirculação do fluido presente na interface peça-eletrodo (gap de trabalho).

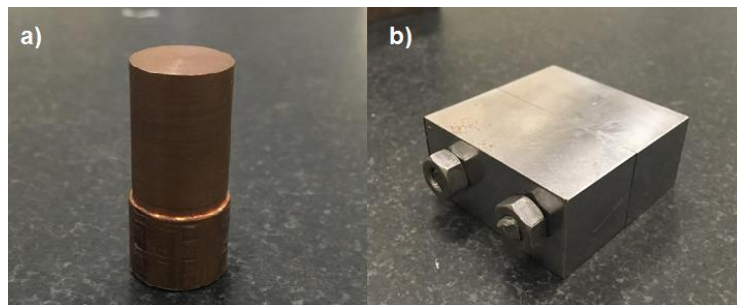


Figura 1. Eletrodo (a) e peça (b) (Autores, 2018)

Foi utilizado o condicionador de sinais da marca Physical Acoustics e modelo Spartan 2000 para aquisição dos dados de emissão acústica durante a usinagem das amostras (Fig. 2-a), onde foi acoplado na parte de trás do tanque de usinagem da máquina de EDM, utilizando um suporte de imã (Fig. 2-b), o transdutor piezoelétrico também da marca Physical Acoustics modelo R15i. Dessa forma, os sinais de emissão acústica foram coletados pelo sensor piezoelétrico juntamente com um software de aquisição de dados elaborado propriamente para este fim em plataforma Labview. Em seguida, os dados foram tratados em Matlab para elaboração dos resultados para análise.

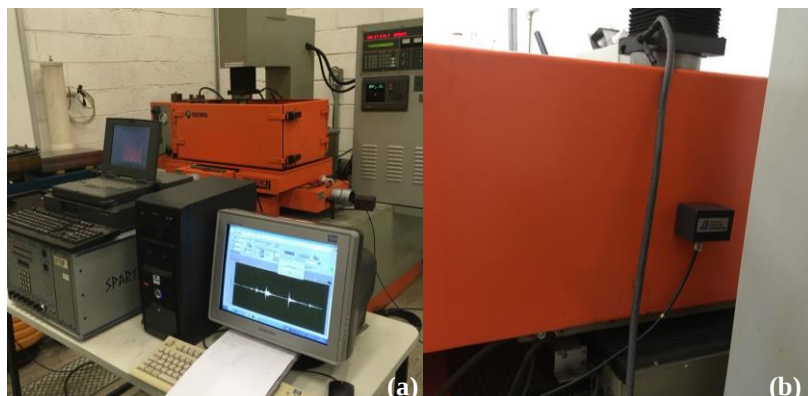


Figura 2. Processo de EDM monitorado por Emissão Acústica (a) e local de fixação do sensor (b) (Autores, 2018)

Resumidamente, o processamento da informação é dado pela Fig. 3. O transdutor capta os sinais de EA da máquina EDM em operação, onde o condicionador de sinais fornece a informação estruturada para uma rotina de tratamento de dados inserida em um software, que por sua vez, realiza a elaboração das informações de forma conclusiva.

Para a obtenção do desgaste do eletrodo, mede-se a diferença de peso antes e depois da usinagem. Para isto utilizou-se uma balança de precisão da Ohaus Corporation, modelo AR2140. Em paralelo, tendo já a forma dos sinais EA obtidos durante o processo, é possível relacionar a emissão acústica da usinagem por eletroerosão em relação ao desgaste do eletrodo.

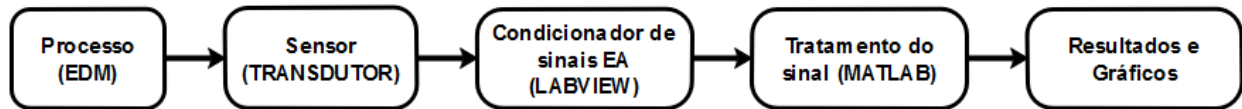


Figura 3. Processamento dos sinais EA (Autores, 2018)

Os sinais de emissão acústica (EA) foram captados durante a execução dos dois ensaios de usinagem. A aquisição foi a uma taxa de 1,2 MHz por 4 segundos, gerando assim uma matriz que contém a amplitude do sinal e o seu respectivo instante de tempo, onde todas estas informações foram coletadas pelo sensor fixado a estrutura da máquina de EDM juntamente com o equipamento de aquisição de dados.

3. RESULTADOS

Na usinagem, ambos os experimentos operaram por tempo suficiente para cada um atingir 5mm de profundidade. No primeiro teste, o processo durou 12 minutos, já no segundo teste, o processo operou por 02 horas e 08 minutos.

3.1. Resultados da Emissão Acústica

Para cada teste de usinagem, com seu respectivo sinal EA, foram produzidos os gráficos de amplitude do sinal pelo tempo e o gráfico da STFT (Fig. 3 e Fig. 4). Com a apresentação do resultado do primeiro teste (Fig. 3), observa-se que as amplitudes das frequências excitadas diminuem com o tempo, onde no primeiro instante da usinagem, a amplitude máxima chega a 367 (Fig. 3 – c), já para o instante final da usinagem (12 minutos) a amplitude reduz para 184 (Fig. 3 – d), totalizando uma redução percentual de 49,9% na amplitude do sinal.

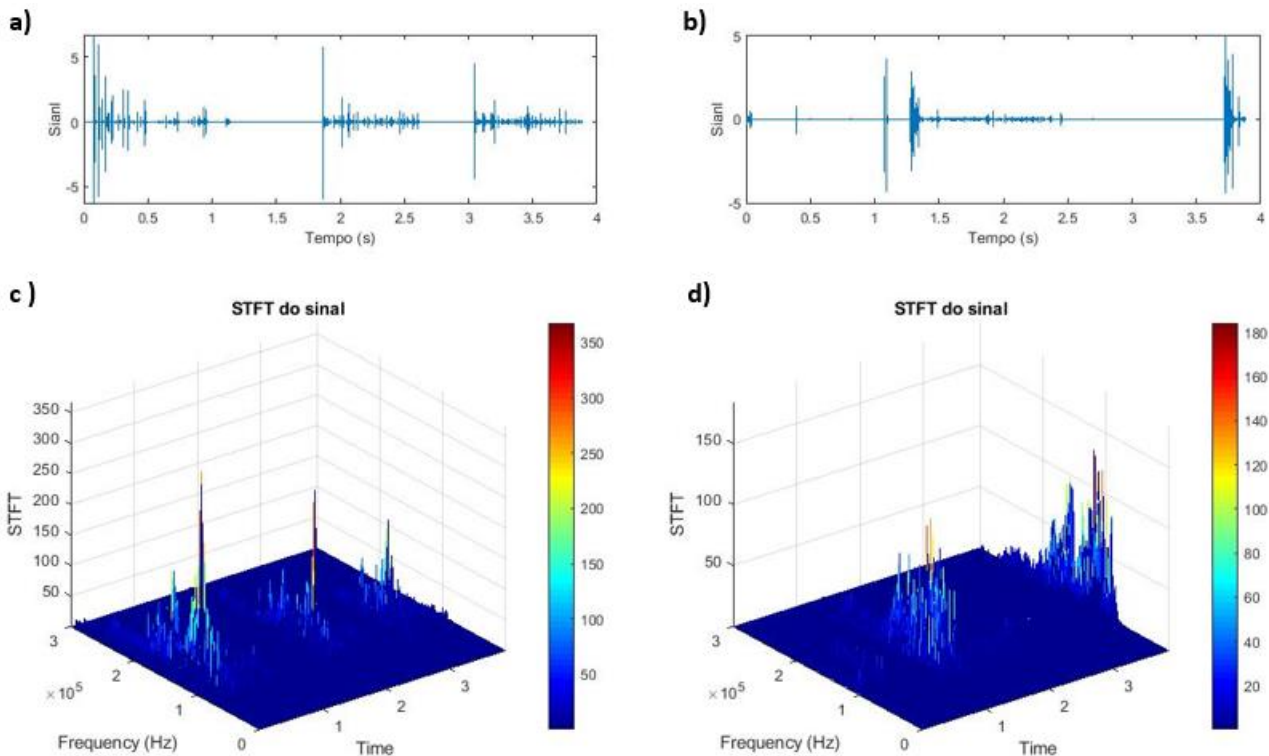


Figura 3. Sinais EA do tempo pela amplitude em t igual a 0mim (a) e t igual a 12mim (b), com os respectivos STFT (c) e (d) para o primeiro teste de usinagem por eletroerosão (Autores, 2018)

O mesmo é constatado para o segundo teste, o qual possui parâmetros menos agressivos na remoção de material durante a usinagem (Fig. 4). No início do processo a amplitude chega a 215 (Fig. 4 – c), no final do processo (2 horas e 8 minutos) a amplitude reduz para 84 (Fig. 4 – d), uma redução percentual de 60,1%.

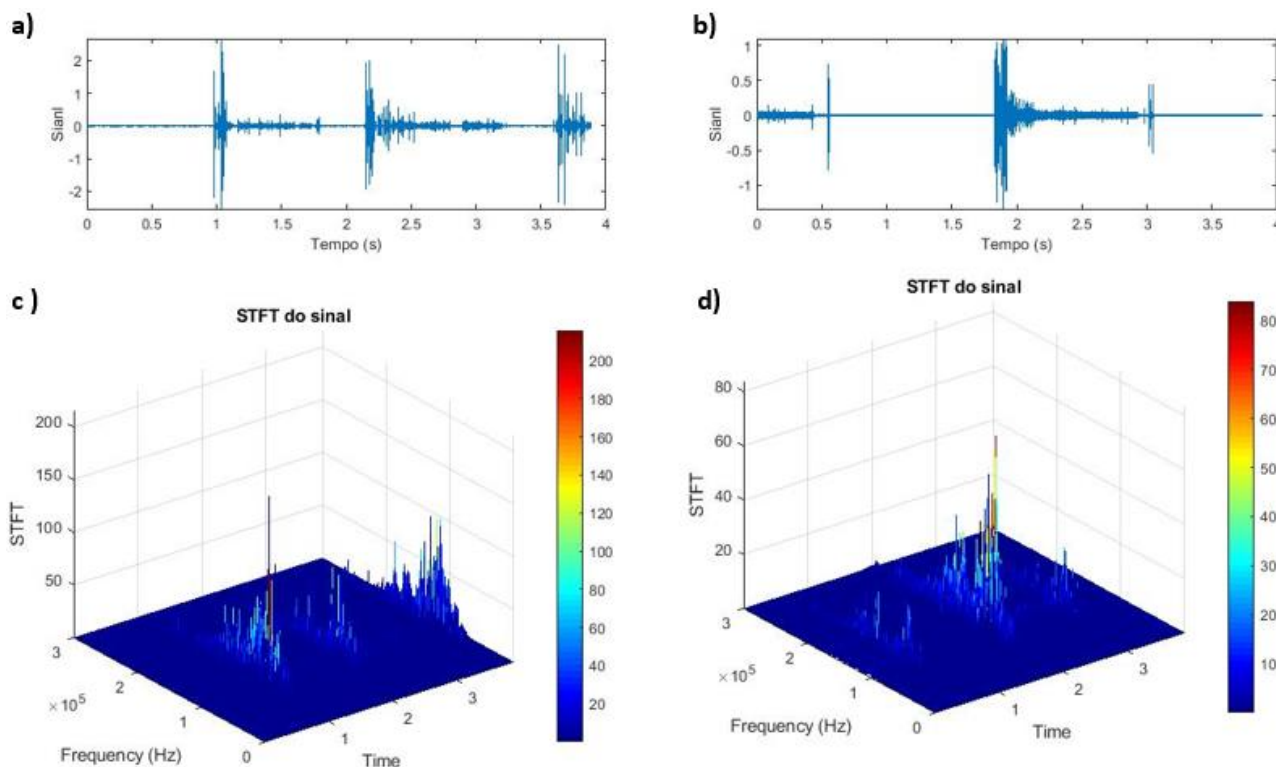


Figura 4. Sinais EA do tempo pela amplitude em t igual a 0mim (a) e t igual a 02h e 08mim (b), com os respectivos STFT (c) e (d) para o segundo teste de usinagem por eletroerosão (Autores, 2018)

Este comportamento de redução das amplitudes dos sinais de EA é dado pela taxa de remoção de material do eletrodo. Enfatizando que o eletrodo perde mais material no início da usinagem, e à medida que avança o processo o eletrodo sofre a “carbonetização”, ou seja, a deposição de carbono na superfície pelo aquecimento e ionização do fluido dielétrico que deixa o eletrodo mais resistente a remoção de material, realizando assim a queda da taxa de desgaste do mesmo.

3.2. Resultados do desgaste do eletrodo

Com a pesagem dos eletrodos é possível obter quanto de material o mesmo perdeu no processo de usinagem que foi submetido. Ainda, calcula-se a taxa de desgaste do eletrodo em cada regime de operação, apresentado na Tab. 1.

Tabela 1. Resultado do desgaste (Autores, 2018)

	1° Teste (12mim)	2° Teste (2h08mim)
Peso Inicial (g)	46,59	46,16
Peso Final (g)	46,3	44,83
$\Delta m(g)$	-0,29	-1,33
Taxa de desgaste (g/h)	-1,47	-0,62

Observa-se que no primeiro teste, operando por um tempo 10,7 vezes menor que o segundo, apresenta uma taxa de desgaste 2,4 vezes maior do eletrodo, resultado esperado tendo em vista que a potência de usinagem é 3,8 vezes maior. Desta forma, quanto maior a agressividade da remoção de material, maior é a amplitude fornecida pelos sinais de EA do processo. Observa-se que a amplitude do sinal do primeiro teste na fase inicial é 1,71 vez maior do que no segundo

teste. Já para a fase final de usinagem, esta diferença aumenta para 2,20 vezes, ressaltando que o segundo teste durou um período consideravelmente maior.

4. CONCLUSÃO

Após os testes realizados, observa-se que os parâmetros selecionados para a eletroerosão (EDM) tem fundamental interferência na taxa de remoção de material dos eletrodos. Para a aplicação deste trabalho encontra-se uma taxa de desgaste 2,4 vezes maior no eletrodo no primeiro teste comparado ao segundo, o que já era de se esperar pela maior potência de usinagem em 3,8 vezes. Avaliando o tempo do processo de EDM com os dois parâmetros utilizados, o parâmetro mais agressivo, primeiro teste, promove um tempo 10,7 vezes menor de usinagem para obtenção da mesma profundidade de 5mm usinada na peça de aço em relação aos parâmetros menos agressivos do segundo teste.

Com a utilização do STFT dos sinais emitidos durante a usinagem, percebe-se que ao longo do processo diminuem as amplitudes das frequências atingidas, fato este que está em função da taxa de desgaste do eletrodo e parâmetros do processo de EDM. Em resumo, decai as amplitudes das frequências excitadas de forma similar a taxa de desgaste do eletrodo.

Ainda, os sinais de emissão acústica da eletroerosão tem total condição de ser coletados e tratados para acompanhamento durante o processo de usinagem, chegando a caracterizar a taxa de desgaste do eletrodo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à PUC-Minas, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e CAPES pelo apoio e a contribuição com disponibilidade e atenção para este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Abbas, N. M., Solomon, D. G. e Bahari, Md. F., 2006. "A review on current research trends in electrical discharge machine (EDM)". *International Journal of Machine Tools & manufacture*, Vol. 47, p. 1214-1228.
- Amorim, Fred Lacerda, 2002. *Tecnologia de Eletroerosão por penetração da liga de Alumínio AMP 8000 e da liga de Cobre CuBe para ferramentas de moldagem de materiais plásticos*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Diniz, Steve Balbino, Abrão, Alexandre Mendes e Leão, Fábio Nogueira. 2009. "The influence of the machining parameters on the performance of die sinking electrical discharge machining". In *20st International Congress of Mechanical Engineering -COBEM2009*. Gramado, Brazil.
- Dukes, R. e Culpan, E. A., 1984. "Acoustic Emission: its techniques and applications". *IEE Proceedings*, Vol. 131, p. 241-251.
- Ferraresi, D., 1970. *Fundamento da usinagem dos metais*. Edgard Blücher, São Paulo.
- Maia, Luis Henrique Andrade, 2015. *Avaliação de Desempenho de Recobrimento em Ferramentas de Metal Duro no Torneamento do Aço ABNT 4340 Temperado por meio de sinais de Emissão*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Schofield, B.H., 1959. *Acoustic emission under applied stress*. Aeronautical Research Laboratory, Report ARL 150, US Air Force, Michigan.
- Smith, Craig e Koshy, Philip, 2013. "Applications of acoustic mapping in electrical discharge machining". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, p. 171-174.
- Tan, Li. 2008. *Digital Signal processing, Fundamental and Applications*. Elsevier, Geórgia.
- Vaseghi, Saeed V., 2006. *Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction*. John Wiley & Sons, Chichester, 3ª edição.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF WEAR OF ELECTRODES IN THE ELECTRIC DISCHARGE MACHINE USING ACOUSTIC EMISSION

Samuel S. Ferreira

Luis H. A. Maia

João M. Cunha

Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Av Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte – MG, Brazil.
samuelsoaresf@gmail.com, luismaia@pucminas.br, joaonepomuceno2012@gmail.com

Fred L. Amorim

Pontifical Catholic University of Paraná, Rua Imaculada Conceição, 1155, Prado Velho, Curitiba – PR, Brazil.
fred.amorim@pucpr.br

Abstract. *Electric Discharge Machine (EDM) is an unconventional machining process that relies on the removal of material by successive electric discharges. In this work, it is proposed the study of acoustic emission (AE) signals as identifiers of wear mechanisms in EDM. For that, EDM tests were performed with two different parameters and in parallel the evaluation of the AE signals and the electrodes performance during each operation was performed. The first test of EDM uses more aggressive parameters to the electrode and part compared to the parameters of the second test. Thus, the electrode obtained 2.4 times higher wear rates in the first test compared to the second. Finally, the characterization of the process and the analysis of the AE signals of the machining were carried out using Short Time Fourier Transform (STFT) techniques. After this, it was possible to correlate the AE signals with the wear behavior of the electrode. The results showed that the acoustic emission signals are sensitive to the wear rate of the electrode.*

Keywords: *Machining, Electric Discharge Machine, EDM, Acoustic Emission*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.