

DETECÇÃO DO FENÔMENO DA QUEIMA NO AÇO SAE 1045 UTILIZANDO TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAIS

Carine Gonçalves Távora, carine.tavora@feb.unesp.br¹
Wenderson N. Lopes, wenderson.lopes@feb.unesp.br¹
Pedro de Oliveira Conceição Junior, pedroliveira931@gmail.com¹
Martin Antonio Aulestia Viera, aulestia.martin16@gmail.com¹
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@feb.unesp.br¹
Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Nucleo Res. Pres. Geisel, Bauru

Resumo: Um dos processos de acabamento mais utilizados na fabricação de peças de precisão é a retificação. Isto explica a importância em se monitorar a condição da superfície da peça na retificação, já que a peça possui um alto valor agregado a ela ao atingir a etapa de acabamento, dessa forma, não pode ser perdida. O objetivo deste trabalho é propor um método de monitoramento de queima em peças de metais no processo de retificação plana utilizando um sensor de baixo custo, os diafragmas piezelétricos. Os ensaios foram realizados em uma retificadora plana que opera com um rebolo de óxido de alumínio, utilizando corpos de provas de aço SAE 1045. Os corpos de provas foram submetido a análise metalográfica para comprovação da ocorrência da queima. Os sinais foram adquiridos a partir do sensor PZT, fixado no suporte da peça. Uma garra amperimétrica captou os sinais de corrente elétrica inferindo indiretamente o sinal de potência. Um sistema de alta capacidade de aquisição foi utilizado para coleta dos sinais proveniente do sensor PZT com uma taxa de amostragem de 2MHz. De posse dos dados, os sinais foram pré-processados com a utilização de filtros digitais e métricas de estudo de sinais acústicos. Os parâmetros RMS e DPO se mostraram efetivos para detectar a ocorrência ou não de queima na peça usinada. O sensor PZT mostrou-se uma boa alternativa para monitorar o processo.

Palavras-chave: Retificação, Monitoramento, PZT, DPO

1. INTRODUÇÃO

A retificação é uma das etapas mais aplicadas da cadeia produtiva de peças de precisão (Shaw 1996). É responsável tanto pela remoção de sobremetal em peças, quanto pela garantia da geometria, tolerâncias de projeto e propriedades superficiais de metais.

Por ser um processo de usinagem que utiliza como ferramenta de remoção de materiais, um corpo circular composto por uma infinidade de arestas de corte geometricamente não homogêneas, a retificação é considerada um processo de alta complexidade. Neste processo, fatores como perda da capacidade corte do rebolo e desgaste da sua superfície de corte que acarreta em altas temperaturas na região de contato entre o rebolo e a peça influenciam de maneira significativa o acabamento da peça usinada (Marinescu et al. 2007). Por conseguinte, o monitoramento da condição da superfície da peça durante o processo de retificação torna-se imprescindível para a garantia de qualidade do produto final.

Existem métodos diretos e indiretos para o monitoramento da retificação. Os métodos diretos, como medição de rugosidade e o teste de metalografia, avaliam diretamente a condição da peça utilizando sensores ópticos, porém é um método invasivo ao processo e ao produto final, podendo demandar significativo tempo de análise e obtenção dos resultados. Os métodos indiretos utilizam sinais sensoriais tais como força, potência, vibração e emissão acústica (Nakai et al. 2015). A combinação de sinais de emissão acústica e potência tem sido um método utilizado com sucesso para determinar parâmetros importantes durante o processo de retificação (P. R. Aguiar, Bianchi, and Canarim 2012). Este método, que pode realizar diagnostico de falhas de maneira não invasiva ao sistema, consiste na detecção dos sinais gerados pelo sensor de emissão acústica e potência que, após serem processados digitalmente, geram características que se correlacionam com as condições tanto da peça submetida a retificação quanto da ferramenta de corte.

Uma das não conformidades geradas no processo de retificação que pode ser monitorada pelo sensor de emissão acústica é a queima ocasionada na superfície da peça. A queima ocorre durante o processo de remoção do material, quando a quantidade de energia gerada na zona de contato produz um aumento significativo na temperatura a ponto de mudar as características físico-químicas da peça (Ribeiro et al. 2015). Existem diversos trabalhos na literatura que abordam o

monitoramento da queima por meio do uso do sensor de emissão acústica. Como por exemplo, (Yang et al. 2014) utilizou-se do sensor de emissão acústica e determinadas técnicas para a extração das características do sinal para detectar a queima na peça gerada a partir da irradiação com laser. Os resultados evidenciaram uma alta correlação entre o valor do sinal RMS de emissão acústica reconstruído e a queima superficial da peça. Em (P. R. Aguiar, Bianchi, and Canarim 2012) foi utilizado estatísticas calculadas a partir do sinal adquirido do sensor de emissão acústica e potência como entradas de um modelo fuzzy para a predição da queima na superfície da peça. Os resultados dos modelos demonstraram-se válidos propondo uma nova abordagem com respostas rápidas para o controle inteligente online e otimização do processo.

Apesar de muito estudada, a técnica de emissão acústica no monitoramento da queima demanda o emprego de sensores com custo significativo, tornando limitado o uso desta técnica (Chen and Liu 2008). Neste cenário, surge a necessidade do estudo da aplicação de um sensor de baixo custo como diafragmas piezoelétricos a base de Titanato Zirconato de Chumbo, que denote uma alternativa de baixo investimento. Associado a isso, o uso de técnicas avançadas de processamento de sinais para o monitoramento da queima pode ser uma solução de grande valia para automatizar a certificação da qualidade e condição de um processo ou de uma peça retificada. O processamento de sinais acústicos pode utilizar diversas métricas, tais como RMS e DPO, e tem como objetivo extrair características dos sinais a fim de obter conclusões a respeito de um determinado fenômeno estudado.

O critério RMS é uma poderosa métrica de avaliação de sinais acústicos que está diretamente relacionada com a carga acústica aplicada ao sensor (P. R. Aguiar, Bianchi, and Canarim 2012). Pode ser expresso pela Eq. (1), sendo T é o tempo de integração, N o número discreto de amostras no intervalo T, E é a tensão elétrica do sinal e E_i a tensão elétrica da amostra i. Para as métricas acústicas de retificação o valor do número de amostras em um sinal janelado a fim de se obter uma informação otimizada no sinal é de 2048.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i^2} \quad (1)$$

A combinação dos sinais de RMS de um sensor de emissão acústica e o sinal de potência de corte, proveniente de uma garra de corrente na entrada da rede que alimenta o processo de retificação, podem fornecer com grande fidelidade a ocorrência do fenômeno da queima durante o processo de usinagem. Esta métrica consiste na relação entre o desvio padrão do sinal RMS de emissão acústica e a potência média de corte por passada do rebolo (Paulo R. Aguiar, Bianchi, and Oliveira 2002). O valor da DPO é representado pela Eq. (2).

$$dpo(k) = \sigma(ae_{rms})_k (pot_{max})_k \quad (2)$$

Em que $\sigma(ae_{rms})_k$ é o desvio padrão da emissão acústica $(pot_{max})_k$ é a potência média ou máxima da passada. Se a potência escolhida for a máxima, tem-se o valor de DPO máximo, para a potência média, tem-se o valor de DPO médio.

Neste trabalho, os valores de média e de desvio padrão das métricas RMS e DPO dos sinais gerados pelo sensor de potência e pelo sensor piezoelétrico de baixo custo, foram utilizados para identificar a ocorrência ou não de queima na superfície das peças submetidas a retificação, tendo como objetivo propor um novo método para monitorar o fenômeno de queima. Estes sensores quando comparados aos sensores convencionais de emissão acústica, apresentam um custo benefício maior pois, além de serem mais baratos são de fácil acoplamento para fixação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em uma máquina retificadora plana tangencial, onde os sinais de potência e PZT foram coletados simultaneamente, em cada passada do rebolo pela peça.

Foram realizados 8 testes utilizando peças de aço SAE 1045 e um rebolo de óxido de alumínio, com os seguintes parâmetros de retificação: velocidade da peça 0,124m/s, velocidade periférica do rebolo 29,00 m/s, diâmetro do rebolo 307,8 mm, comprimento da peça 7mm, largura da peça 15mm, fluido de corte, emulsão 4%. Os parâmetros da retificação foram mantidos constantes durante os ensaios, exceto a profundidade de corte que variou de forma a produzir peças com condições de superfície diferentes: sem queima, queima leve e queima severa. A profundidade de corte da primeira peça foi de 5µm e então variou-se para cada peça, 5µm a mais que a peça anterior.

Os dados adquiridos pelos sensores foram processados digitalmente por meio do Software MATLAB. Foi aplicado o algoritmo FFT (Fast Fourier Transform) ao sinal e, com isso, foi realizada a análise do conteúdo espectral do sinal PZT de forma a identificar uma faixa de frequência que caracterizava adequadamente o fenômeno da queima. Sendo assim, selecionou-se uma banda que apresentasse uma atividade acústica maior mediante o aumento da severidade do corte. No mais, para que a vibração não influenciasse nos resultados, retirou-se o espectro abaixo de 30kHz. Após essa análise, um filtro Butterworth de quinta ordem foi aplicado ao sinal puro para a faixa de frequência escolhida. Então, foi calculado o valor RMS para o sinal em blocos de 2048 amostras, equivalente a 1 ms.

Com os valores RMS do sinal PZT, calculou-se a média e o desvio padrão para cada peça. Para o sinal de potência, a partir dos seus valores RMS calculou-se a potência máxima. Com isso, obteve-se o parâmetro DPO máximo.

Sendo assim, analisou-se a relação entre o comportamento dos parâmetros da média do sinal RMS e DPO máximo com os resultados apresentados pelo teste de metalografia, sendo possível estabelecer uma relação destas métricas com a severidade da queima na peça.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 ilustra os resultados do ensaio metalográfico para o aço SAE 1045 com aplicação de Nital 2% para o ataque químico das peças 1, 5 e 6.

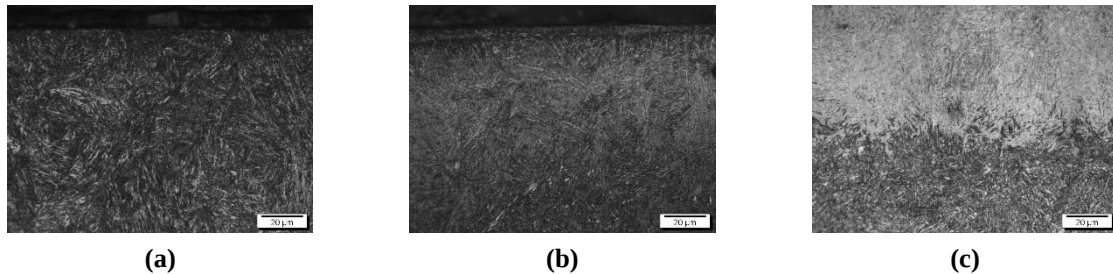


Figura 1. Metalografia aço SAE 1045. (a) Peça 2; (b) Peça 5; (c) Peça 8.

Pode-se observar uma camada superficial branca na peças 6 que está relacionada a formação de martensita não revenida (Chou and Evans 1999). Essa transformação micro estrutural é prejudicial a integridade da peça por afetar as propriedades de sua superfície, reduzindo a resistência a fadiga (Bosheh and Mativenga 2006). Além disso, essa camada é extremamente dura e frágil associada a formação de tensões residuais de tração, tornando o material suscetível a trincas. No processo de retificação, em condições severas, esse dano térmico é tido como a queima da peça (Bosheh and Mativenga 2006)(Ramesh et al. 2005). Dessa forma, o ensaio metalográfico esclarece que a peça 6 sofreu a queima enquanto as peças 1 e 5 não sofreram alterações em suas estruturas.

A Figura 2 apresenta os valores da FFT para o aço SAE 1045, a fim de obter as características de amplitude e frequência para as três profundidades de corte.

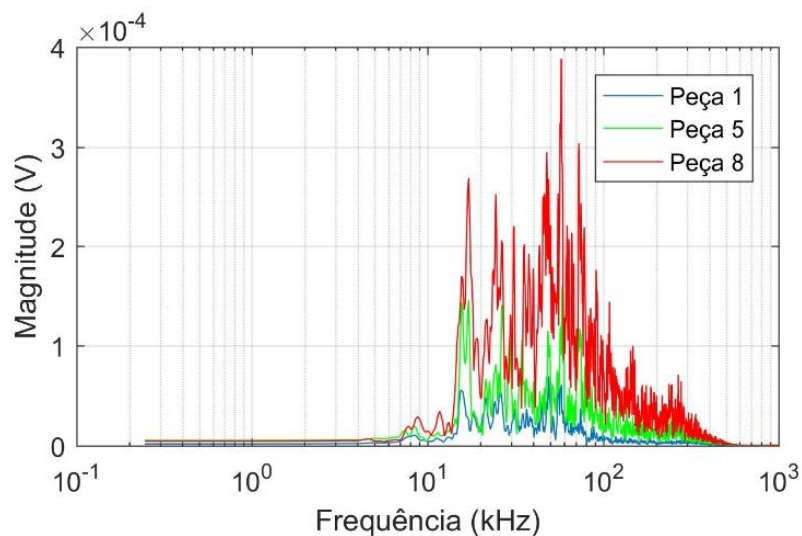


Figura 2. Espectro de Sinal para a seleção de banda.

A faixa de frequência cujo comportamento acústico aumentou com a severidade de corte ficou entre 60 a 70 kHz conforme Fig. (3).

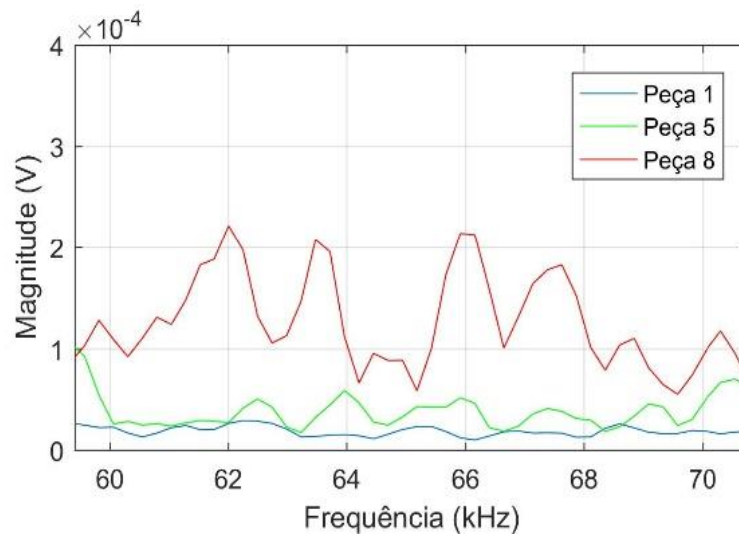


Figura 3. Banda escolhida.

A Figura 4 mostra a média encontrada dos valores RMS do sinal PZT.

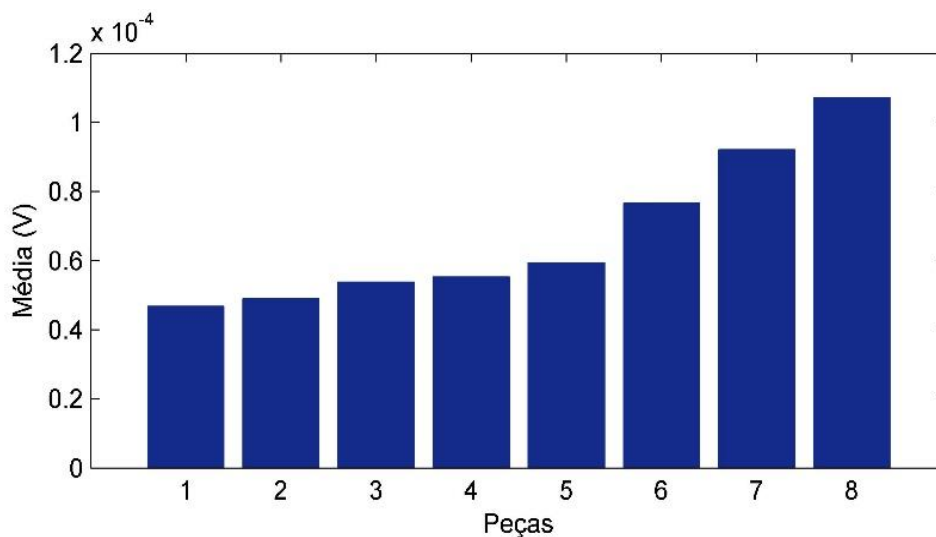


Figura 4. Média dos valores RMS.

A média extraída do vetor RMS, para as peças de 1 a 5 mantiveram uma tendência uniforme, ou seja, apresentaram valores muito próximos uns dos outros. Entretanto, para os corpos 6, 7 e 8, a média teve um comportamento assintótico crescente acentuado, diferente do observado anteriormente. Estes resultados indicam que existe uma correlação aos resultados externados pelo ensaio metalográfico já que a assíntota deste gráfico teve um crescimento mais expressivo exatamente no primeiro ponto de queima (corpo de prova 6) e continuou crescendo conforme o aumento da severidade da queima no metal estudado.

A Figura 5 mostra o comportamento do parâmetro DPO máximo.

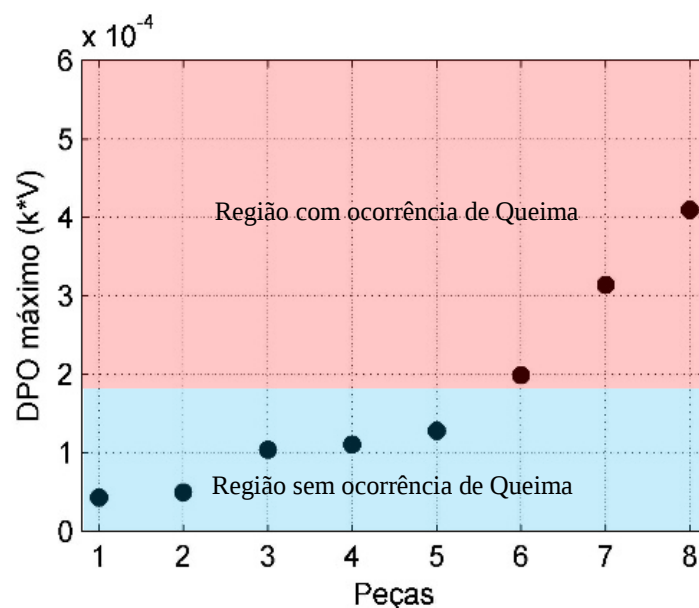


Figura 5. DPO máximo.

Quanto ao parâmetro de DPO máximo observa-se que para os corpos de prova 1 e 2 seu valor ficou em torno de 0,5k*V. Para as peças 3, 4 e 5 o parâmetro apresentou uma tendência uniforme, isto é, apresentaram valores próximos de 1k*V. Entretanto, para os metais 6, 7 e 8 observou-se um crescimento com tendência linear uma vez que o parâmetro, em, relação ao valor da peça 5, dobrou para a peça 6, triplicou e quadruplicou, respectivamente, para as peças 7 e 8.

Estes resultados indicam que existe uma correlação aos resultados externados pelo ensaio metalográfico já que a assíntota deste gráfico teve um crescimento mais expressivo exatamente no primeiro ponto de queima (corpo de prova 6) e continuou crescendo conforme o aumento da severidade da queima no metal estudado.

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi propor um método de baixo custo para a identificação da ocorrência ou não de queima no processo de retificação. Foi utilizado o método acústico e extraiu-se algumas métricas dos sinais externados pelo diafragma piezelétrico de baixo custo e transdutor de potência. Os ensaios de referência para os resultados obtidos foi a metalografia. Conforme observado, os parâmetros de média e DPO máximo aumentaram quando há a ocorrência de queima conforme indicado pelo ensaio de metalografia.

Mediante esses resultados torna-se factível a afirmação de que o diafragma piezelétrico possui grande potencial para o monitoramento e controle do processo de retificação. Este sensor, além de ser uma alternativa de baixo custo viabiliza um novo método não invasivo para garantir a qualidade deste processo, surgindo também a possibilidade de emprego em outras áreas da engenharia de fabricação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES e CNPq pelo apoio concedido.

6. REFERÊNCIAS

- Aguiar, P. R., E. C. Bianchi, and R. C. Canarim. 2012. "Monitoring of Grinding Burn by Acoustic Emission." *Acoustic Emissions*: 341–64. <http://www.intechopen.com/books/acoustic-emission/monitoring-of-grinding-burn-by-acoustic-emission->.
- Aguiar, Paulo R., E. C. Bianchi, and J. F. G. Oliveira. 2002. "A Method for Burning Detection in Grinding Process Using Acoustic Emission and Effective Electric Power Signals." *Manufacturing Systems* 31(3): 253–57.
- Bosheh, S. S., and P. T. Mativenga. 2006. "White Layer Formation in Hard Turning of H13 Tool Steel at High Cutting Speeds Using CBN Tooling." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 46(2): 225–33.
- Chen, Bing, and Juanyu Liu. 2008. "Damage in Carbon Fiber-Reinforced Concrete, Monitored by Both Electrical Resistance Measurement and Acoustic Emission Analysis." *Construction and Building Materials* 22(11): 2196–2201.
- Chou, Y. Kevin, and Chris J. Evans. 1999. "White Layers and Thermal Modeling of Hard Turned Surfaces." *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 39(12): 1863–81.
- Marinescu, Ion et al. 2007. *Handbook of Machining with Grinding Wheels*.
- Nakai, Mauricio Eiji et al. 2015. "Evaluation of Neural Models Applied to the Estimation of Tool Wear in the Grinding

- of Advanced Ceramics.” *Expert Systems with Applications* 42(20): 7026–35.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.05.008>.
- Ramesh, A. et al. 2005. “Analysis of White Layers Formed in Hard Turning of AISI 52100 Steel.” *Materials Science and Engineering A* 390(1–2): 88–97.
- Ribeiro, D. M S. et al. 2015. “Low-Cost Piezoelectric Transducer Applied To Workpiece Surface Monitoring in Grinding Process.” *ABCM International Congress of Mechanical Engineering - COBEM* 23(1–10).
- Shaw, M. C. 1996. Oxford Science on Advanced Manufacturing *Principles of Abrasives Processing*. New York.
- Yang, Zhensheng, Zhonghua Yu, Haixi Wu, and Daofang Chang. 2014. “Journal of Materials Processing Technology Laser-Induced Thermal Damage Detection in Metallic Materials via Acoustic Emission and Ensemble Empirical Mode Decomposition.” *Journal of Materials Processing Tech.* 214(8): 1617–26.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.03.009>.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

DETECTION OF GRINDING BURN ON SAE 1045 STEEL BY DIGITAL SIGNAL PROCESSING APPROACHES

Carine Gonçalves Távora, carine.tavora@feb.unesp.br¹
Wenderson N. Lopes, wenderson.lopes@feb.unesp.br¹
Pedro de Oliveira Conceição Junior, pedroliveira931@gmail.com¹
Martin Antonio Aulestia Viera, aulestia.martin16@gmail.com¹
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@feb.unesp.br¹
Paulo Roberto de Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br¹

¹Universidade Estadual Paulista (UNESP), Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Nucleo Res. Pres. Geisel, Bauru

Abstract. One of the processes commonly used in manufacturing of precision workpieces is the grinding. Thus, monitoring the workpiece surface condition during this process is essential to the quality assurance of the final product, since parts with high added value are found in this stage of the manufacturing chain. The objective of this work is to propose a method of monitoring the grinding burn of steel workpieces using a low cost sensor, commonly known as the piezoelectric diaphragms. The tests were carried out on a surface grinding machine that operates with an aluminum oxide grinding wheel using workpieces of SAE 1045 steel. To evaluate the results provided by acoustic signal analysis, the workpieces were thoroughly analyzed through and metallographic analyzes. The signals were acquired from the PZT sensor, fixed to the workpiece holder. An amperometric claw captured the electrical current signals by indirectly inferring the power signal. The data acquisition system was performed by a high performance oscilloscope whose sample rate was 2 MHz. The data were preprocessed using digital filters and acoustic signal study metrics. The DPO and mean RMS presented good indicators of grinding burn. The use of low cost-piezoelectric transducer proved effective for monitoring the grinding process.

Keywords: Grinding Burn, Monitoring, PZT, DPO