

ESTUDO DO EFEITO DA TEMPERATURA EM SENSOR DE EMISSÃO ACÚSTICA POR MEIO DO TESTE DA QUEBRA DO GRAFITE

Bárbara Guedes Lopes¹, ba_glopes@hotmail.com¹
Wenderson Nascimento Lopes, wendersonmanin@gmail.com¹
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@feb.unesp.br¹
Carine Gonçalves Távora, carine.tavora@feb.unesp.br,¹
Leonardo Simões, leosimoes2006@hotmail.com¹
Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br²

¹Departamento de Engenharia Elétrica, UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP

²N Departamento de Engenharia Mecânica, UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP

Resumo: O método da quebra do grafite (PLB) é utilizado para reproduzir uma fonte artificial de emissão acústica. Esse método consiste em utilizar uma lapiseira na qual sua ponta de grafite de tamanho e espessura determinadas é pressionada em determinado ângulo até a quebra em uma superfície. Essa quebra produz a liberação de energia sob a forma de ondas elásticas de estresse que se propagam pela superfície e são captadas por um sensor fixado na base e convertidos em sinal elétrico. O método da quebra do grafite é eficaz na caracterização de sensores de emissão acústica. Nesse trabalho foi investigado o efeito da variação de temperatura na operação de sensores de emissão acústica por meio do método da quebra do grafite e processamento digital de sinais. Os resultados demonstram que ao observar a resposta em frequência não só a temperatura, mas também a faixa de frequência analisada são fatores que influenciam na amplitude do sinal. Ao comparar sinais em temperaturas diferentes a diferença de magnitude na amplitude aumenta de forma proporcional a diferença de temperatura.

Palavras-chave: Teste do grafite, emissão acústica, temperatura, análise no domínio da frequência.

1. INTRODUÇÃO

A deformação causada em um corpo por uma força externa libera um *stress* e ocasiona um movimento microscópico em sua estrutura que pode ser detectado por transdutores piezoelétricos, por exemplo: sensores de emissão acústica (EA). Os sensores de emissão acústica inicialmente foram usados em aplicações para monitoramento de estruturas, principalmente na engenharia civil, mecânica e aeroespacial (Johnson *et al.* 2014). O método da quebra do grafite (PLB) é amplamente utilizado como uma fonte acústica confiável para execução de testes laboratoriais para analisar a resposta de transdutores piezoelétricos. O PLB consiste em usar uma lapiseira para fazer a quebra do grafite na superfície de um material qualquer, assim, o *stress* acumulado é liberado fazendo com que haja uma movimentação microscópica em forma de uma onda na superfície desse material, que é captada pelo transdutor e convertida em um sinal elétrico equivalente, o qual é processado, analisado e correlacionado com o fenômeno físico de interesse.

A ampla utilização de sensores de emissão acústica para sistemas de monitoramento tanto industrial quanto em outros seguimentos, como citado em Lee *et al.* (2006), faz-se necessária a busca pela eficiência desses sensores em diferentes situações. Alguns estudos demonstram a busca por novos materiais para tornar tais sensores cada vez mais resistentes (Noma *et al.*, 2007; Johnson *et al.*, 2014). De acordo com Baptista *et al.* (2013) os sensores piezoelétricos quando utilizados na técnica de impedância eletromecânica tem sua resposta altamente afetada pela temperatura de operação. Assim os estudos relacionados a temperatura de operação para sensores de emissão acústica são parâmetros atualmente importantes para o diagnóstico do processo e da confiabilidade do sensor utilizado. Por isso, o objetivo deste trabalho consistiu-se em utilizar o método PLB para avaliar a resposta do sensor de emissão acústica em temperaturas distintas.

2. MÉTODO DA QUEBRA DO GRAFITE

O método da quebra do grafite (PLB) é utilizado para reproduzir uma fonte artificial de emissão acústica. Ele consiste em utilizar uma lapiseira na qual sua ponta de grafite de tamanho e espessura determinados é pressionada em

determinado ângulo até a quebra em uma superfície. Essa força aplicada causa uma pequena deformação na estrutura do espécime utilizada para a quebra causando a propagação de uma onda acústica pelo material. Ao colocar um sensor nessa base o mesmo capta a deformação sofrida pela estrutura durante a quebra do grafite e o converte para um sinal elétrico.

Segundo De Almeida; Baptista; De Aguiar, (2015) o PLB tem sua eficiência comprovada em métodos como a caracterização de sensores de emissão acústica e para a obtenção experimental da sensibilidade de transdutores piezelétricos para a detecção de danos baseados na técnica da impedância eletromecânica.

A ampla aceitação do PLB em testes é devido a simplicidade do método e a confiabilidade dos seus resultados em reproduzir a propagação da onda na estrutura a ser analisada assim como a frequência de resposta do sensor (De Almeida; Baptista; De Aguiar, 2015). Contudo para esse teste é necessário que haja um cuidado em manter um padrão na força, no ângulo de quebra, na espessura, no diâmetro e no comprimento do grafite, pois variações nesses parâmetros causam diferenças nos sinais obtidos (Sause, 2011), que podem ser identificadas usando ferramentas de análise espectral como a transformada rápida de Fourier (FFT - Fast Fourier Transform) e densidade espectral de potência (PSD, do inglês - Power Spectral Density). A análise espectral de sinais extrai informações importantes que não são retratadas no espectro do domínio do tempo.

A FFT é um algoritmo eficiente de implementação da Transformada Discreta de Fourier (DFT – Discrete Fourier Transform), utilizada para análise do conteúdo espectral de sinais. As principais vantagens da FFT é que essa ferramenta necessita de um baixo poder computacional e é executada em um curto tempo de processamento como descrito por Lyons; Richard, (2010).

A PSD é uma função que representa a distribuição de energia sobre o domínio da frequência de sinais aleatórios ou periódicos. Essa ferramenta tem sido utilizada em aplicações como: o reconhecimento de fala e sistemas sonares; para localização de submarinos, que utilizam este método de análise espectral como uma medida preliminar para reduzir a largura de banda em posterior processamento acústico como citado em Barbé; Pintelon; Schoukens, (2010). A PSD pode ser obtida via método Welch, um algoritmo implementado no software Matlab®, proposto por Welch, (1967). Este método separa os dados em vários segmentos sobrepostos, calcula um espectro de potência usando a FFT sobre cada segmento e faz a média destes espectros. Para estimar a PSD o método Welch é considerado como sendo o mais eficiente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização dos testes foi utilizada uma lapiseira para quebrar o grafite com comprimento de 3 mm e 0,5 mm de diâmetro mantendo um ângulo de 45° entre a lapiseira e a estrutura de aço ABNT 1020 onde foi fixado o sensor de EA da fabricante SENSIS, modelo DM42. A distância entre o ponto da quebra e o sensor foi de 2 cm. Na ponta da lapiseira foi utilizado um cilindro de borracha para evitar a inserção de ruído que ocorre devido o contato desta com a estrutura de aço como descrito em De Almeida; Baptista; De Aguiar, (2015).

Para variar a temperatura de operação do sensor e de todo o sistema foi utilizado jatos de ar quente para aumentar a temperatura e jatos de ar frio para diminuí-la. Ambos fornecidos por um secador de 2.000 watts de potência da fabricante TAIFF, a temperatura foi medida através do termômetro digital da fabricante MINIPA modelo MT-500 iniciando na maior temperatura (65°C) e decrescendo até chegar a menor (25°C).

O sensor teve o seu desempenho analisado em várias temperaturas, porém neste trabalho serão mostrados apenas os resultados obtidos para as temperaturas de 25°C e 65°C. Para cada temperatura foram realizados três quebras, resultando em três sinais de EA, isto é, três repetições para cada temperatura analisada. Os sinais foram coletados por um oscilógrafo da fabricante YOKOGAWA, modelo DL850 a uma taxa de cinco milhões de amostras por segundo. Em seguida, seus espectros de frequência em função da magnitude foram computados tanto para a FFT quanto para a PSD usando o software Matlab®, sendo que para os três sinais obtidos para cada temperatura foi calculado um espectro médio de frequência para FFT e para a PSD.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sinais originais obtidos nos testes de quebra do grafite nas temperaturas analisadas foram selecionados em um determinado período de tempo, de forma que cada um resultasse apenas no sinal obtido no momento da quebra do grafite como exemplificado na Fig. 1.

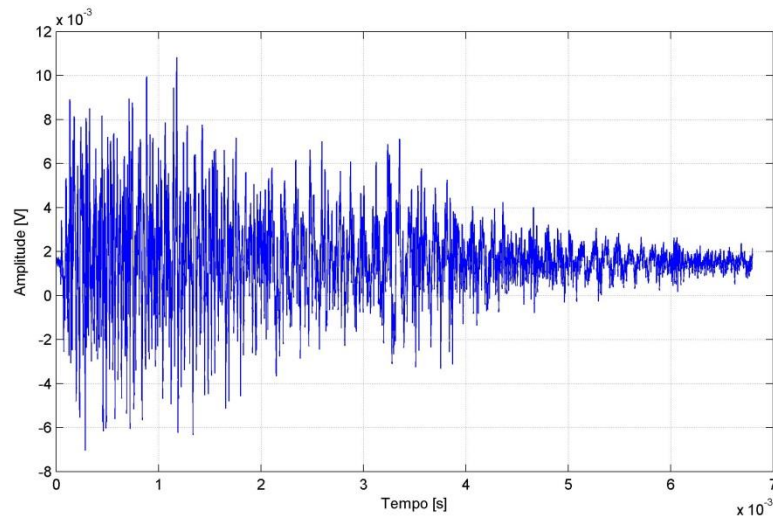


Figura 1. Sinal truncado no momento da quebra.

A FFT do sinal de EA amostrado na quebra do grafite em duas temperaturas distintas, a saber, 25 e 65 °C, é apresentada na Figura 2. A PSD do sinal de EA amostrado na quebra do grafite em duas temperaturas distintas, a saber, 25 e 65 °C, é apresentada na Fig. 3.

Observa-se na Fig. 2 que as amplitudes das frequências se alteram de acordo com a temperatura. O sensor possui uma sensibilidade maior para a temperatura de 25 °C, enquanto que, na temperatura de 65 °C sua resposta é menor. Esse comportamento é similar ao ocorrido com a resposta da impedância eletromecânica em Baptista *et al.* (2013), até a frequência de 200 kHz aproximadamente. Segundo a análise realizada por Baptista *et al.* (2013) em seu trabalho sobre a caracterização do método da impedância eletromecânica (EMI) utilizando sensores PZT's, o aumento da temperatura causa efeitos de diminuição nas amplitudes do conteúdo harmônico além de defasagem do sinal. De forma análoga o mesmo ocorreu com o sensor de EA, pois esse sensor, também possui material piezelétrico suscetível as variações na temperatura e ao movimento mecânico do material.

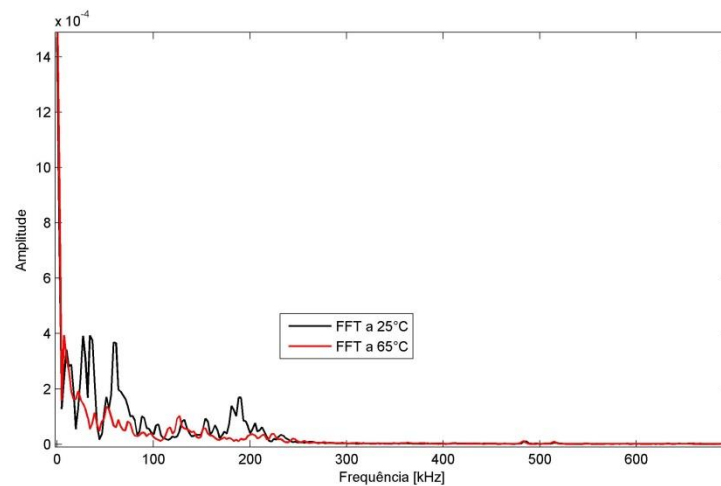


Figura 2. FFT do sinal obtido a 25°C e a 65°C.

Na Fig. 3 é possível identificar variações nas amplitudes das frequências de acordo com a temperatura. Tais fatores são mais evidentes na análise da densidade espectral de potência ao comparar as respostas para a faixa de 0 até 200 kHz. Destaca-se que em ambas as respostas dos sinais no cálculo da FFT e da PSD, as diferenças de amplitudes das frequências são maiores para a faixa de frequências de 30 kHz a 80 kHz. Tal comportamento não é identificado na faixa de 100 kHz a 180 kHz. Isso demonstra que algumas faixas de frequências estão mais suscetíveis as alterações de temperatura do que outras, devido a sensibilidade do sensor de EA ser proeminente na faixa de 30 a 80 kHz.

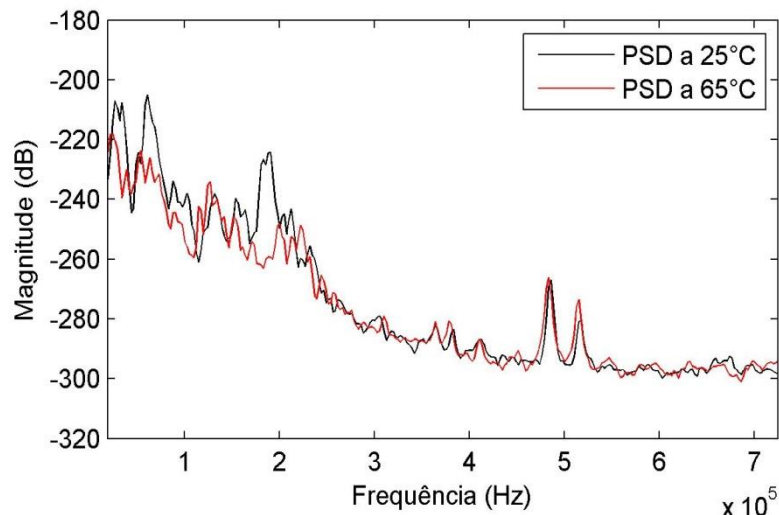


Figura 3. PSD a 25°C e a 65°C.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados demonstrados neste trabalho, pode-se afirmar que a temperatura de operação na qual o sensor de emissão acústica está inserido é determinante para que não seja obtido um falso diagnóstico no monitoramento. Quando observada a resposta em frequência não só a temperatura, mas também a faixa de frequência analisada são fatores que influenciam na amplitude do sinal. Ao comparar sinais em temperaturas diferentes, as maiores diferenças de amplitude ocorreram nas frequências mais baixas. Os resultados apontam que a magnitude da amplitude aumenta de forma proporcional ao decréscimo da temperatura.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- Baptista, F. G. et al. "An experimental study on the effect of temperature on piezoelectric sensors for impedance-based structural health monitoring". *Sensors* (Basel, Switzerland), v. 14, n. 1, p. 1208–1227, 2013.
- Barbé, K.; Pintelon, R.; Schoukens, J. "Welch method revisited: Nonparametric power spectrum estimation via circular overlap". *IEEE Transactions on Signal Processing*, v. 58, n. 2, p. 553–565, 2010.
- De Almeida, V. A. D.; Baptista, F. G.; De Aguiar, P. R. "Piezoelectric transducers assessed by the pencil lead break for impedance-based structural health monitoring". *IEEE Sensors Journal*, v. 15, n. 2, p. 693–702, 2015.
- Johnson, J. A. et al. "High-temperature acoustic emission sensing tests using a Yttrium calcium oxyborate sensor". *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, v. 61, n. 5, p. 805–814, 2014.
- Lee, D. E. et al. "Precision manufacturing process monitoring with acoustic emission". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 46, n. 2, p. 176–188, 2006.
- Lyons; Richard, G. "Understanding Digital Signal Processing". 3. ed. USA: Prentice Hall, 2010.
- Noma, H. et al. "High-temperature acoustic emission sensing using aluminum nitride sensor". *The Sixth International Conference on Acoustic Emission (Acoustic Emission Working Group)*, South Lake Tahoe (USA), v. 25, p. 107–114, 2007.
- Sause, M. G. R. "Emission Sources". v. 29, p. 184–196, 2011.
- Welch, P. D. "The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms". *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, v. 15, n. 2, p. 70–73, 1967.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

"Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho".

STUDY OF THE EFFECT OF THE TEMPERATURE IN ACOUSTIC EMISSION SENSOR BY THE PENCIL LEAD BREAK

Bárbara Guedes Lopes¹, ba_glopes@hotmail.com¹
Wenderson Nascimento Lopes, wendersonmanin@gmail.com¹
Felipe Aparecido Alexandre, felipe.alexandre@feb.unesp.br¹
Carine Gonçalves Távora, carine.tavora@feb.unesp.br,¹
Leonardo Simões, leosimoes2006@hotmail.com ¹
Paulo Roberto Aguiar, aguiarpr@feb.unesp.br¹
Eduardo Carlos Bianchi, bianchi@feb.unesp.br²

¹Electrical engineering department UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP

²Mecanical Engineering department UNESP, Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01, CEP:17033-360, Bauru, SP

Abstract: *The pencil lead break (PLB) is a well-known method to reproduce an artificial source of acoustic emission. It consists of carefully breaking the pencil lead against some surface using a determined angle. The lead has its size and thickness pre-determined. This break releases energy by the form of elastic stress waves which goes through the surface and it is capture by the sensor which is fixed in the base and it is transformed in an electric signal. This method is efficient to characterize acoustic emission sensors. This study investigates the effects of the temperature variation in the acoustic emission sensors operation by the PLB method and digital processing of data. The results in the frequency domain showed that not only the temperature but also the frequency band which are analysed are factors that influence the signal amplitude. Comparing the signals in different temperatures the difference between the amplitudes rises in a proportional way as the difference between the temperatures.*

Keywords: *Pencil lead break, acoustic emission, temperature, frequency domain analyse.*