

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO MICRO MAGNÉTICO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE SOLDAS ALUMINOTÉRMICAS EM TRILHOS FERROVIÁRIOS

Rick Fabian França Oliveira

Freddy Armando Franco Grijalba

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas-SP

rickffoliveira@gmail.com, freffranco@fem.unicamp.br

Marcelo Caethano Souza Cabeça

Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Avenida Colares Moreira, 477, Renascença, São Luís-MA

cabecmc@ifma.edu.br

Resumo. O objetivo desse trabalho é verificar a sensibilidade da técnica de medição do Ruído magnético de Barkhausen (RMB) na detecção de variações microestruturais de soldas aluminotérmicas em trilhos ferroviários. Procura-se identificar uma correlação dos valores RMS e Posição-Pico do Envelope dos sinais do RMB com a distribuição das variações de tensão residual e dureza geradas na solda. O trabalho foi feito em cima de uma amostra de trilho, o qual foi cortado para revelar a macrografia da junta de solda. No procedimento de medida, a sonda (Yoke e bobina leitora) é colocada sobre a superfície do material, embora não seja necessário haver contato sensor/superfície. O sinal RMB é registrado e depois calculados os parâmetros, RMS e Posição-Pico do Envelope. Passos pequenos, de 2,5 mm, são utilizados entre os pontos de medição de uma mesma linha para uma melhor resolução dos dados. No total são 15 linhas para geração de um mapa de superfície. Os resultados mostraram que os parâmetros analisados do sinal de RMB identificaram aceitavelmente as distribuições de tensão residual e dureza gerados na solda.

Palavras chave: END. Solda. RMB. Trilho. Microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

Os trilhos são componente vital das ferrovias e seu desempenho está diretamente ligado à segurança das ferrovias. União em seções longas de trilhos ferroviários são realizadas principalmente por juntas de trilho ("talas") ou por soldagem aluminotérmica. Requisitos de qualidade são sempre exigidos para as juntas soldadas, garantindo estabilidade da operação e conforto na condução. Em ferrovias, principalmente as de carga, devem ser consideradas a resistência ao desgaste e à abrasão, fadiga desenvolvidas na alma e patim, bem como a resistência a danos superficiais na Zona Térmica Afetada (ZTA). Em geral, os limites dimensionais das juntas de solda são de 40-50 mm e 15-25 mm para Zona Fundida (ZF) e ZTA em cada lado, respectivamente. Atualmente, todas as uniões em trilhos ferroviários são realizadas por processos de solda.

A região da solda inevitavelmente adquire propriedades mecânicas inferiores às do trilho, contendo defeitos volumétricos como, trincas, poros, rechupes e defeitos não volumétricos como geração de tensões residuais, variações na dureza e alterações na microestrutura. Esses defeitos alteram as propriedades mecânicas do trilho e, portanto, tais regiões (as uniões soldadas) são consideradas as maiores fontes de falha na via.

Defeitos volumétricos em regiões de solda podem ser examinados por técnicas não destrutivas bem conhecidas, por exemplo o ultrassom e phased-array. No entanto, as empresas ferroviárias no Brasil carecem de técnicas confiáveis para realizar a inspeção de defeitos não volumétricos. Isto é, existem técnicas laboratoriais eficazes, tais como os métodos Brinell, Vickers, furo-cego e difração de raios-X, mas não há técnicas confiáveis que permitam ser utilizadas em campo. Contudo, trabalhos recentes em chapas submetidas a diferentes tipos de soldagem "Giraldo, *et al.*, 2010", "Raja, *et al.*, 2018", "Vourna, *et al.*, 2015" e "Yelbay, *et al.*, 2010" mostram que a técnica Ruído Magnético de Barkhausen (RMB) é sensível às variações da microestrutura (dureza e tensões residuais).

Portanto, é necessário e importante dispor de métodos, imprescindivelmente, de caráter não destrutivo que forneçam essas informações sobre juntas de trilho em campo. Nesse contexto, o método de medição do RMB se apresenta como uma técnica de grande potencial.

2. METODOLOGIA

As medições de RMB foram realizadas com equipamentos, sondas e amplificador de sinal, montados em nosso laboratório, na faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Para determinar os parâmetros do amplificador e do sensor utilizado para as medições, foram realizados testes preliminares com diferentes sondas, sensores de RMB, utilizando diferentes parâmetros de medida. Isto com o objetivo de obter as condições de medida que fornecessem a maior sensibilidade.

Para a avaliação do sinal de RMB os parâmetros de valor RMS e envelope (com relação à carga em Volts na bobina de excitação do campo magnético) foram analisados.

2.1. Amostra

A amostra de trilho utilizada nesse trabalho, perfil TR 68, passou pelo processo de soldagem aluminotérmica com pré-aquecimento. Essa amostra foi submetida a corte longitudinal por eletroerosão a fio, lixamento e ataque químico para revelar sua macrografia, como apresentado em Fig. 1. Uma junta típica de solda como essa contém três regiões distintas: Zona de Fusão (ZF), Zona Termicamente Afetada (ZTA) e a região do Metal Base (MB) conforme “Vourna, *et al.*, 2015”.

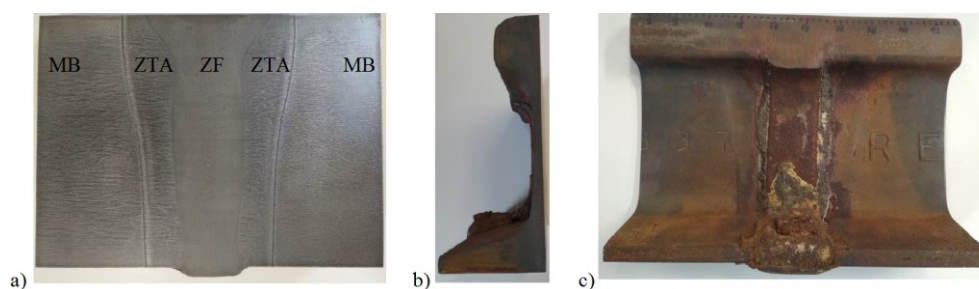


Figura 1. a) Vista frontal da amostra, b) Vista lateral esquerda e c) Vista posterior

2.2. Sistema de medição

Para a geração de RMB é necessário induzir um campo magnético variável no material. Neste procedimento foi utilizada uma sonda que se compõe de um yoke eletromagnético em forma de U que controla o campo magnético alternado de excitação (tensão alternada senoidal com 1,1 V de amplitude e 10 Hz), e uma bobina leitora que detecta o sinal de RMB. Todas as medições foram realizadas aplicando o campo na direção transversal ao eixo do trilho. A Figura 2 mostra a sonda de RMB e um esquema típico do sistema de medida utilizado.

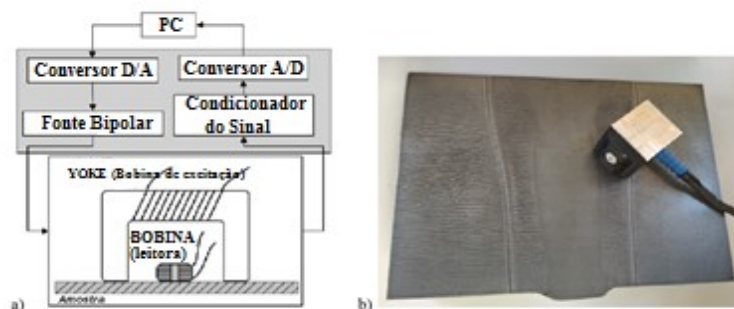


Figura 2. a) Esquema da cadeia de medida do RMB, b) Sonda de RMB construída no laboratório da FEM-UNICAMP

O sinal medido pela bobina leitora, inicialmente foi amplificado (30 dB) e filtrado (passa-banda de 2 a 150 kHz), posteriormente foi digitalizado utilizando uma frequência da aquisição de dados de 300 kHz. Por outro lado a corrente de alimentação do Yoke foi gerada por uma fonte bipolar controlada por uma saída D/A de uma placa de aquisição de dados. No procedimento de medida, a sonda (Yoke e bobina leitora) é colocada sobre a superfície do material, embora não seja necessário haver contato sensor/superfície. Os sinais adquiridos foram compostos por 4 “bursts” de RMB gerados em dois ciclos completos de magnetização.

2.3. Pontos de medição de RMB

As medições de RMB foram feitas em diferentes pontos na superfície da amostra. A Figura 3 representa de maneira esquemática as posições dos pontos de medição no material. Foram feitas medições em diferentes linhas paralelas ao

eixo longitudinal do trilho, espaçadas 10 mm. A linha 1 foi escolhida arbitrariamente numa posição 8 mm abaixo da superfície superior do boleto. Cada linha tem 61 pontos de medição, correspondentes a um ponto médio (na parte central da amostra) e trinta pontos de cada lado, com espaçamentos de 2,5 mm entre os pontos. Logo, a área de medição possui dimensões de 150 mm (ao longo do comprimento do trilho) por 140 mm (altura).

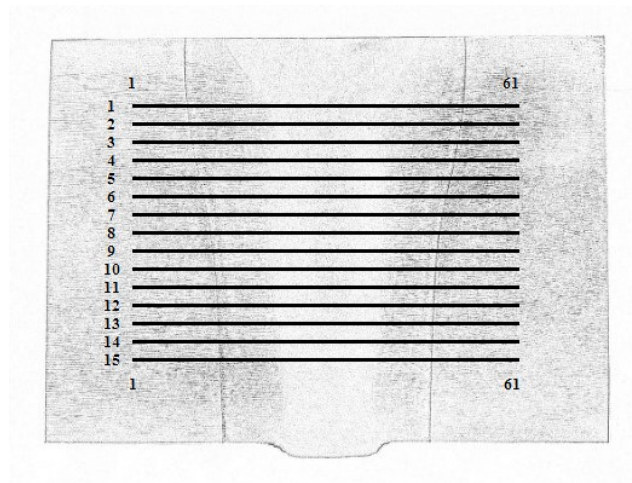


Figura 3. Posição dos pontos para medição de RMB.

3. RESULTADOS

Em regiões diferentes da junta, temos diferentes gradientes térmicos gerados pela variação da temperatura durante o processo de soldagem. Esse gradiente térmico afeta as propriedades mecânicas da peça e introduz tensões residuais. São encontrados na literatura muitos parâmetros que correlacionam o sinal RMB com as variações microestruturais. Dentre esses parâmetros estão os valores RMS e Posição Pico de RMB, como mostrado por “Vourna, *et al.*, 2015” e “Franco, *et al.*, 2013”.

3.1. RMS

A Figura 4 mostra o gráfico de superfície do parâmetro RMS obtido a partir das medições do sinal RMB ao longo do comprimento do trilho. A posição 0mm no eixo longitudinal corresponde com a posição do centro da solda.

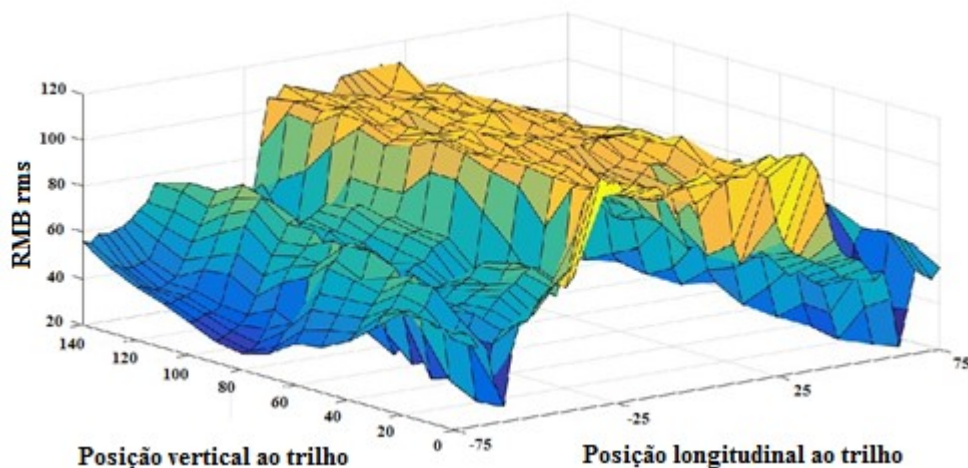


Figura 4. Gráfico de superfície do parâmetro RMS.

No mapa acima, verifica-se que os valores RMS variam ao longo das linhas de tal forma que na região do metal base eles são relativamente baixos e oscilam pouco. Nas proximidades do limite da ZTA eles decrescem até um valor mínimo, a partir do qual já dentro da ZTA eles voltam a crescer até um valor máximo próximo ao limite da ZF. Nas proximidades do limite da ZF esses valores decrescem ligeiramente, praticamente se estabilizando dentro da ZF até a linha de centro da solda. O comportamento da curva em uma mesma linha de medição é aproximadamente simétrico em

relação a linha de centro da solda. É conhecido na literatura (Jiles, 2000) que em regiões com menor densidade de defeitos cristalinos a movimentação de paredes de domínio magnético é facilitada e, assim, as emissões de RMB aumentam. Então, o sinal RMB e, consequentemente, o parâmetro RMS crescem com o aumento das tensões de tração e diminuem com o aumento das tensões de compressão.

Essa variação dos valores RMS através das diferentes zonas da junta de solda, na região da alma do trilho, se correlacionam aceitavelmente com distribuições de tensões residuais verticais, mostradas nos resultados de “Webster, *et al.*, 1997” e utilizando a técnica de medição de difração de nêutrons. O presente trabalho e o trabalho citado foram ambos realizados com juntas de trilho de solda aluminotérmica. Pequenas divergências encontradas podem ser devido as diferentes especificações do material base do trilho, como também diferentes parâmetros e/ou falhas de operação no processo de soldagem.

3.2. Posição-Pico

A Figura 5 mostra o gráfico de superfície do parâmetro Posição-Pico obtido a partir das medições verticais do sinal RMB ao longo do comprimento do trilho. A correlação das posições no gráfico da Fig. 5 com as posições dentro da área de medição na Fig. 3 são as mesmas descritas acima para o gráfico de superfície do parâmetro RMS.

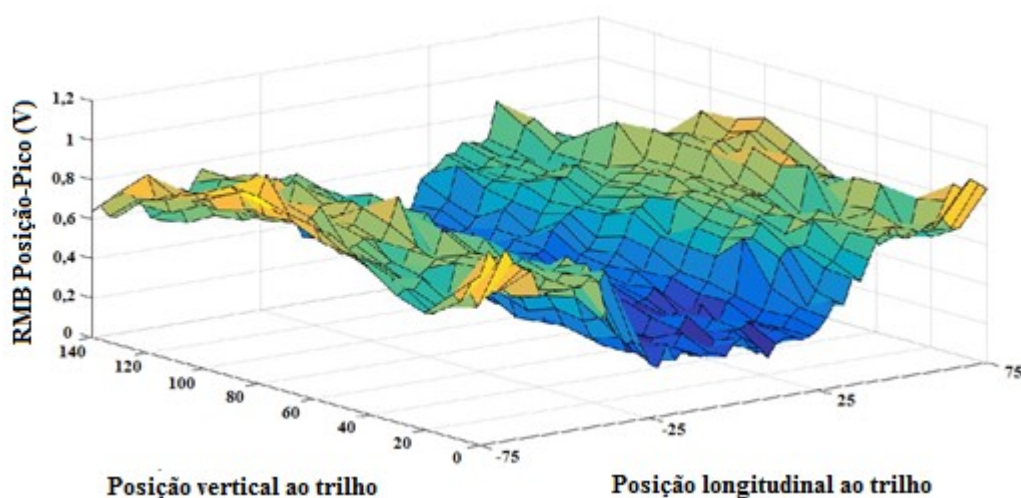


Figura 5. Gráfico de superfície do parâmetro Posição-Pico

No mapa acima, verifica-se que os valores Posição-Pico variam ao longo das linhas de tal forma que na região do metal base eles são relativamente altos e oscilam pouco. No limite da ZTA eles começam a decrescer e caem bastante até um valor mínimo dentro da ZTA e nas proximidades do limite da ZF. Na ZF esses valores decrescem, quase se estabilizando, até o centro da solda. Daí para frente o comportamento do sinal é aproximadamente espelhado. Sabe-se que o parâmetro Posição-Pico apresenta valores maiores onde a dureza é maior, como mostrado por “Franco, *et al.*, 2013”. Isto é, a posição do pico do RMB está situado em um campo magnético relativamente elevado e nas regiões do material com alta densidade de defeitos a inversão da magnetização exige um campo forte.

Essa variação dos valores Posição-Pico através das diferentes zonas da junta de solda, na região da alma do trilho, não se assemelham com as curvas de dureza, denominadas “dentes de vampiro”, encontradas na literatura para medições muito próximas a superfície do boleto. Conforme mostrado por “Saita, *et al.*, 2013”, no presente trabalho também observa-se uma queda de dureza na região da ZTA, contudo nesse trabalho os valores se mantêm baixos no centro da solda. Essa divergência encontrada pode ser devido a inúmeros fatores e seria necessário outras técnicas, estudos e medições adicionais para entender melhor esse comportamento dos valores Posição-Pico na alma do trilho.

4. CONCLUSÕES

A técnica RMB se mostrou muito sensível as variações microestruturais na junta de solda, podendo ser observadas claramente a variação dos parâmetros calculados através das três regiões da junta. Podem retirar-se as seguintes conclusões do presente estudo experimental realizado:

1. O parâmetro RMS calculado pode ser correlacionado aos valores de tensão residual na estrutura cristalina.
2. O parâmetro Posição-Pico calculado pode ser correlacionado aos valores de dureza da microestrutura do material.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Esse trabalho também teve o apoio da FEM-UNICAMP através da infra-estrutura e outros recursos disponibilizados. Os autores agradecem a todos os apoios recebidos.

6. REFERÊNCIAS

- Franco, F. A. et al. Relation between magnetic Barkhausen noise and hardness for Jominy quench tests in SAE 4140 and 6150 steels. *Journal of Nondestructive Evaluation*, v. 32, n. 1, p. 93-103, 2013.
- Giraldo, C. P. S. et al. Avaliação de soldagem de aço estrutural através do Ruído Magnético de Barkhausen. *Soldagem & Inspeção (Impresso)*, v. 15, n. 4, p. 273-280, 2010.
- Jiles, D. C. Dynamics of domain magnetization and the Barkhausen effect. *Czechoslovak journal of physics*, 2000, 50. Jg., Nr. 8, S. 893-924.
- Raja, A. R.; Yusufzai, M. Z. K.; Vashista, M. Micro-magnetic analysis of friction stir welded steel plates. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, p. 1-9, 2018.
- Saita, K. et al. Trends in rail welding technologies and our future approach. *Nippon steel & sumitomo metal technical report*, n. 105, p. 84, 2013.
- Vourna, P. et al. An accurate evaluation of the residual stress of welded electrical steels with magnetic Barkhausen noise. *Measurement*, v. 71, p. 31-45, 2015.
- Webster, P. J. et al. Residual stresses in alumino-thermic welded rails. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, v. 32, n. 6, p. 389-400, 1997.
- Yelbay, H. I.; Cam, I.; Gür, C. H. Non-destructive determination of residual stress state in steel weldments by Magnetic Barkhausen Noise technique. *NDT & E International*, v. 43, n. 1, p. 29-33, 2010.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EVALUATION OF NON-DESTRUCTIVE MICRO MAGNETIC TEST SENSITIVITY FOR THE CHARACTERIZATION OF THERMITE WELDS IN RAILS

Rick Fabian França Oliveira

Freddy Armando Franco Grijalba

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas-SP
rickffoliveira@gmail.com, frefranco@fem.unicamp.br

Marcelo Caethano Souza Cabeça

Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Avenida Colares Moreira, 477, Renascença, São Luís-MA
cabecmc@ifma.edu.br

Abstract. *The aim of this work is to verify the RMB technique parameters sensitivity in relation to the microstructural variations of thermite welds in rails. It is tried to identify a correlation of the RMS and Peak-Position of the Envelope values with the variations of residual stress and hardness. The work was done on a rail sample, which was cut to reveal the macrograph of the welded joint. In the measurement procedure, the probe (Yoke and reader coil) is placed on the surface of the material, although no sensor / surface contact is required. The RMB signal is recorded and then processed into parameters, RMS and Peak-Position of the Envelope. Small steps of 2.5 mm are used between the measurement points of the same line for better resolution of the data. In total there are 15 lines for a surface map plotting. The results showed that the analyzed parameters of the RMB signal performed well in identifying the distributions of residual stress and hardness from the weld.*

Keywords: *NDT, Welding, BN, Rail, Microstructure.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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