



CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MECÂNICA DE UM TRILHO FERROVIÁRIO DE AÇO PERLÍTICO SOLDADO POR CENTELHAMENTO

Carlos Cícero Reis Andrade¹, Hernan Feitosa Guimarães Neto², Luane Luiza Pereira Marques², Mateus José Araújo de Souza³, Amanda Lucena de Medeiros³, Deibson Silva da Costa²

¹PPGEM, Universidade Federal do Pará – UFPA/Belém, Brasil
(carlos.andrade@ananindeua.ufpa.br)

²FEMat, Universidade Federal do Pará – UFPA/Ananindeua, Brasil

³FEM, Universidade Federal do Pará – UFPA/Belém, Brasil

Resumo: O trilho ferroviário é um componente essencial para a via permanente. Neste trabalho foi analisado um trilho que apresentou o defeito de canoamento em uma junta soldada por centelhamento. O objetivo desse trabalho foi realizar a análise de composição química e os ensaios de dureza e microdureza na junta soldada. A composição química apresentou-se de acordo com a literatura e normas técnicas, a dureza e microdureza da junta soldada apresentaram diminuição acentuada, tornando seu emprego inviável.

Palavras-chave: Propriedades; Trilhos; Dureza; Composição química; Soldagem.

INTRODUÇÃO

O trilho é um dos componentes mais importantes da estrutura ferroviária, possuindo o maior custo. Com altos valores cíclicos estando sujeitos a falhas durante sua utilização. O aparecimento de defeitos em soldas de trilhos ocorre geralmente devido ao nível de dureza do material e as solicitações causadas pelas rodas dos equipamentos ferroviários. Analisar e determinar o limite de seu desgaste possibilita melhorar a circulação e a segurança da via (SOKEI et al., 2012; GOMES, 2016; LORENZ, 2018).

Os trilhos empregados nas ferrovias devem ser resistentes à ocorrência de defeitos que podem provocar falhas, assim como possuir uma boa combinação de resistência mecânica, resistência à fadiga e ao desgaste. Uma microestrutura adequada é fundamental para que as propriedades requeridas sejam atendidas (MOREIRA, 2019).

O material utilizado na fabricação dos trilhos perlíticos é o aço, que apresenta entre 0,6 e 0,9 % de teor de carbono com adições de Mn e Cr. Esses aços apresentam microestrutura perlítica, atingindo resistências entre 900 e 1200 MPa e dureza entre 260 e 290 HB (SILVA, 2017).

No processo de soldagem por centelhamento, eleva-se a temperatura dos metais a serem unidos até próximo ao seu ponto de fusão, distribuindo o calor gerado em torno da junta de maneira mais uniforme. O processo de soldagem ocorre com a aproximação das peças até que os pontos de contato se encontrem

e as pontes sejam formadas, ocorrendo o fechamento do circuito, fusão localizada, ejeção do metal fundido e a geração de descargas elétricas. A passagem da corrente elétrica, através dos contatos formados pelas irregularidades presentes nas peças, gera forças eletromagnéticas que atuam sobre a junta soldada e ejetam as partículas de metal fundido (PEREIRA, 2017; VICENTE, 2017).

As soldas realizadas por centelhamento ou aluminotermia produzem zonas termicamente afetadas (ZTA) que podem resultar em menores valores de dureza em comparação com o metal de deposição e o metal de base (MICENKO et al., 2013).

O defeito de canoamento é de grande preocupação nas ferrovias de carga pesada, ocorrendo uma depressão junto as soldas. O defeito surge devido as diferenças de dureza entre o metal de base e a zona termicamente afetada (ZTA). A pressão de contato da roda causa deformação na região do metal de base ou da ZTA, que possui menor dureza, criando o formato de uma canoa (ROSA, 2008).

O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização química e mecânica de um trilho ferroviário soldado pelo processo de centelhamento que apresentou o defeito de canoamento na junta soldada, para esse fim, realizou-se a análise química e os ensaios de dureza Rockwell e microdureza Vickers.



MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma mostrado na Figura 1 apresenta o planejamento experimental utilizado neste trabalho.

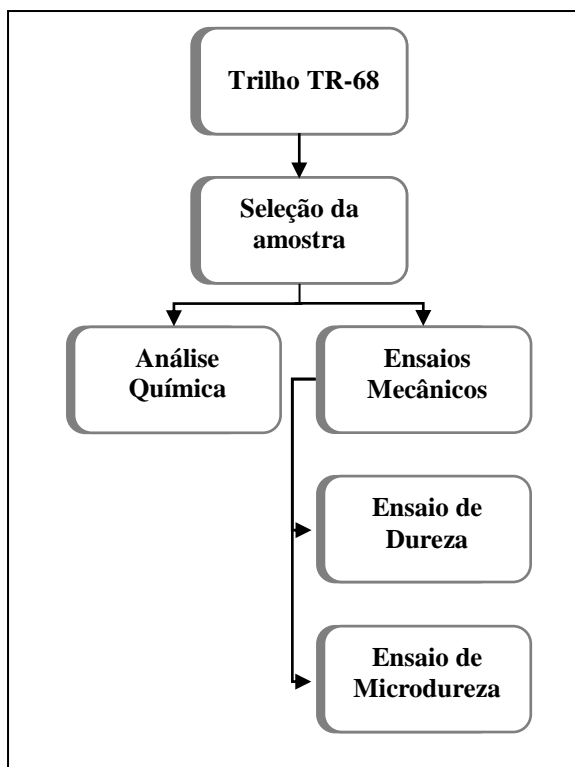


Figura 1. Fluxograma com as atividades experimentais.

O trilho analisado neste trabalho é do tipo Vignole e corresponde a classificação TR-68. E este é procedente de uma ferrovia de elevado carregamento, o trecho de sua localização corresponde a uma seção que foi unida via técnica de soldagem por centelhamento.

O trilho selecionado é mostrado na Figura 2 onde há destaque para a região da solda. Na análise visual observou-se o esmagamento presente na superfície do trilho. Não foram cedidas características técnicas referentes a operação e produção do trilho.

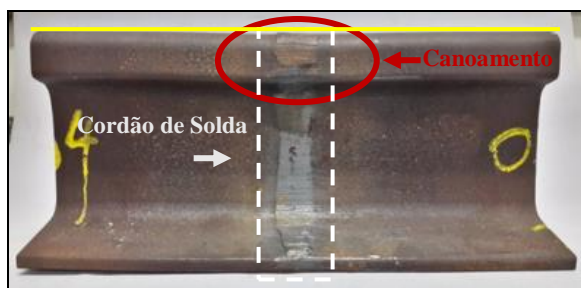


Figura 2. Trilho ferroviário.

Na Figura 3 identifica-se o defeito do tipo canoamento destacado em vermelho na região do bolete.

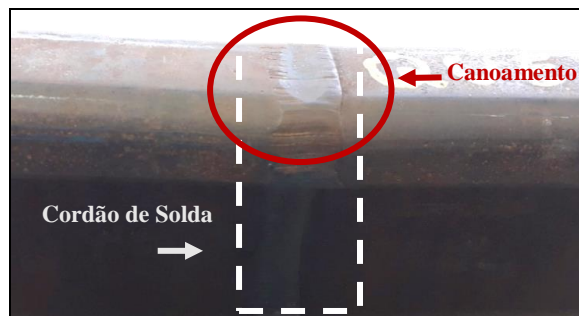


Figura 3. Destaque do defeito do tipo canoamento.

Para realizar a caracterização do trilho, retirou-se uma amostra longitudinal da região do bolete (destacado em vermelho), conforme as dimensões em mm mostradas na Figura 4. O corte foi realizado utilizando uma máquina de eletroerosão a fio.

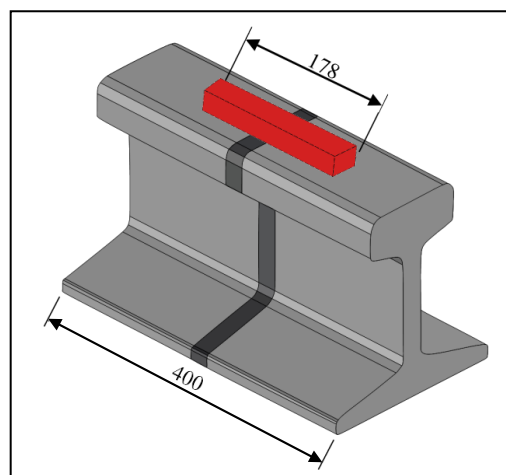


Figura 4. Região do corte e retirada da amostra.

A amostra retirada da região do bolete possui 178 mm de comprimento, 47,2 mm de altura e 10 mm de espessura, conforme mostra a Figura 5.

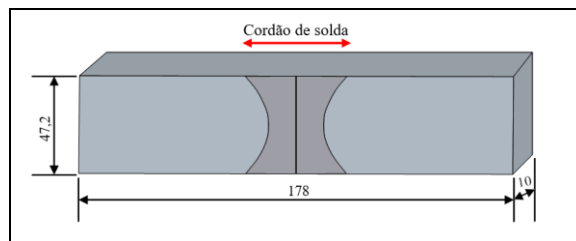


Figura 5. Amostra retirada do bolete.

A análise química foi efetuada via espectrômetro de emissão óptica da marca Bruker e do modelo Q4 Tasman, conforme mostra a Figura 6. Efetuou-se as análises na amostra da região do bolete, obteve-se um perfil longitudinal nas regiões do metal de base (MB), zona termicamente afetada (ZTA) e linha central (LC).



Figura 6. Espectrômetro de emissão óptica.

Foram realizadas 24 medições com espaçamento de 10 mm, a fim de verificar se há variações na composição química das regiões do trilho, conforme a Figura 7.

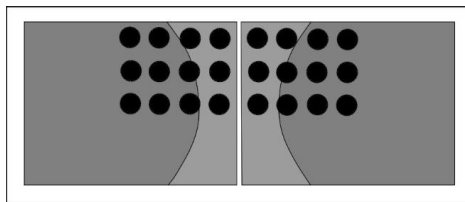


Figura 7. Amostra para análise química.

Seguindo a norma ABNT NBR ISO 6508-1 (2019) o ensaio de dureza Rockwell foi realizado para aferição de dureza por região, utilizou-se o durômetro Rockwell, modelo 200HRS-150, mostrado na Figura 8.



Figura 8. Durômetro Rockwell.

A Figura 9 apresenta o esquema das indentações realizadas. A caracterização foi realizada na junta soldada, abrangendo o metal de base (MB), a zona termicamente afetada (ZTA) e a linha central (LC). Adotou-se uma sequência de indentações que corresponde a 4 (quatro) linhas contínuas, a distância entre as indentações foi de 5 mm na direção y (profundidade) e com 2,5 mm de espaçamento no eixo x, utilizou-se a escala HRC.

Utilizou-se o penetrador cone de diamante com 120 ° de conicidade, a carga utilizada no ensaio foi de 10 kgf em seguida aplicou-se a força de ensaio de 140

kgf, resultando em uma força de ensaio total de 150 kgf pelo tempo de 8 segundos.

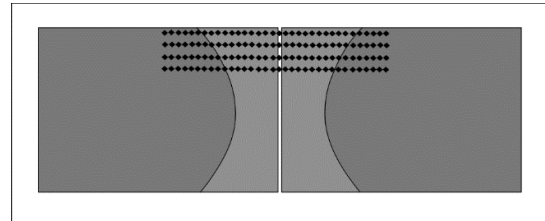


Figura 9. Amostra para o ensaio de dureza.

Para obter o perfil de microdureza da solda foi utilizado um microdurômetro da marca Microtest de dureza Vickers com penetrador de diamante, mostrado na Figura 10, utilizou-se a carga de 200 gf por um tempo de 13 s, o espaçamento entre as indentações foi de 3,5 mm.



Figura 10. Microdurômetro.

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado na região da linha central (LC) do cordão de solda, conforme a Figura 11, com base na norma ASTM E92 (2017).

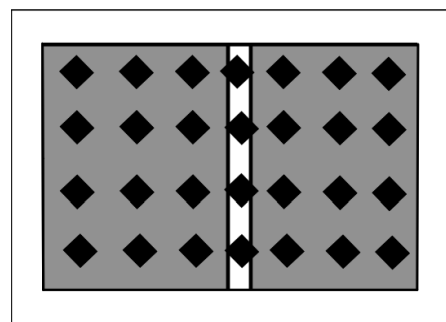


Figura 11. Amostra da região da linha central do cordão de solda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico mostrado na Figura 12 apresenta a composição química da junta soldada por centelhamento, observou-se que não houve dispersão de elementos analisados ao longo das posições, mantiveram-se em perfil constante.

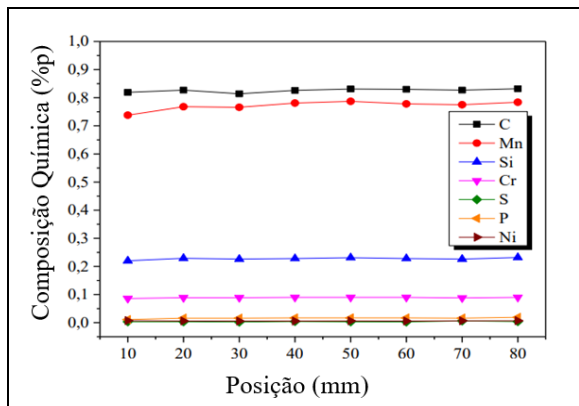


Figura 12. Distribuição da composição química da junta soldada.

A Tabela 1 mostra a composição química geral da secção da junta soldada e o desvio padrão, onde nota-se que a variação foi pouco significativa.

Tabela 1. Composição química.

Elementos (%)	Média	Desvio padrão
C	0,82575	0,006228
Mn	0,772125	0,015597
Si	0,2275	0,003703
Cr	0,089	0,001414
S	0,003663	0,001243
P	0,016125	0,002295
Ni	0,006238	0,000614

A amostra com o defeito de canoamento não apresentou variação significativa dos elementos analisados, ambos os trilhos unidos estão nas mesmas faixas de composição química, o que pode ser evidência de serem do mesmo fabricante. A análise química apresentou-se de acordo com a norma ASTM A1-00 (2018).

Os elementos C, Mn e Si possuem características como ação desoxidante, aumento de resistência e aumento da dureza, o Cr proporciona aumento de resistência e de temperabilidade, o S e o P reduzem a ductilidade do material e o Ni aumenta a resistência ao impacto (CIMM, 2021).

A análise da dureza da junta soldada cortada longitudinalmente, apresentou notáveis modificações, tendo em vista as alterações térmicas no processo de soldagem, que afetam as estruturas do material de base unido.

Vários trabalhos (ROSA, 2008; SILVA, 2017; PORCARO et al., 2017; NISHIKAWA, 2018; MIRANDA, 2020) mostram que a dureza é reduzida na região da zona termicamente afetada (ZTA), observa-se no gráfico apresentado na Figura 13 a

diminuição acentuada de dureza, ocorrendo na ZTA Direita (ZTAD) e ZTA Esquerda (ZTAE), onde esse formato de gráfico é denominado como “dente de vampiro”, na região da Linha Central (LC) se notou o menor valor de dureza com destaque para a profundidade de 10 mm.

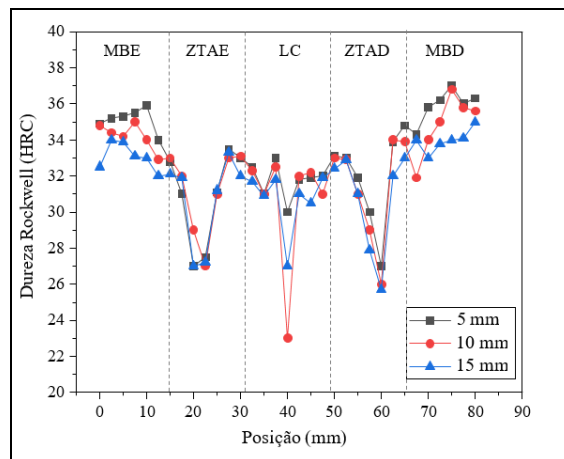


Figura 13. Perfil de dureza (HRC).

A Figura 14 apresenta as linhas de indentações realizadas no ensaio de microdureza na região da linha central (LC), com a profundidade em relação a superfície do boleto de 5, 10 e 15 mm.



Figura 14. - Marcações do ensaio de microdureza na LC.

A Figura 15 mostra o perfil de microdureza Vickers na LC do cordão de solda, o resultado apresentou uma diminuição acentuada da microdureza nesta região, onde ocorreu o defeito de canoamento.

Percebe-se que os valores de microdureza Vickers aumentam conforme a profundidade da amostra, juntamente com o desvio padrão.

Quando comparado com a literatura (PORCARO et al., 2017; DANIEL, 2021). Os valores de microdureza obtidos na amostra analisada são insuficientes para a aplicação do trilho ferroviário em serviço, visto que a diminuição excessiva de microdureza e de resistência podem estar associadas a defeitos como o defeito de canoamento.

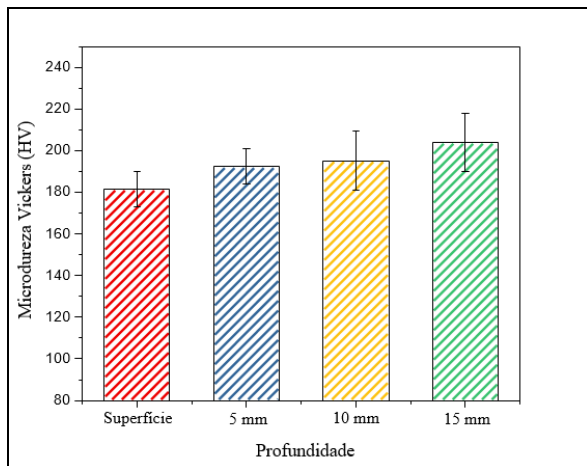


Figura 15. Perfil de microdureza Vickers (HV).

CONCLUSÃO

A junta soldada por centelhamento apresentou alterações pouco significativas na dispersão dos elementos de liga do trilho, confirmou-se através da composição química de 0,82 %p C que se trata de um aço hipereutetóide, apresentando-se em conformidade com a literatura.

Por meio do ensaio de dureza Rockwell na junta soldada cortada longitudinalmente, notou-se alterações significativas, com destaque para a zona termicamente afetada (ZTA) e para a linha central (LC), onde observou-se os menores valores de dureza.

O perfil de microdureza Vickers da linha central (LC) do cordão de solda, apresentou uma diminuição excessiva em comparação com a literatura, sendo valores insuficientes para a aplicação do trilho ferroviário em serviço.

AGRADECIMENTOS

Universidade Federal do Pará – UFPA.

Faculdade de Engenharia de Materiais – FEMat.

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM.

Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais – GPEMAT.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 6508-1:2019. Materiais Metálicos – Ensaio de Dureza Rockwell Parte 1: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2019.
- ASTM. American Society for Testing Materials. A1-00: Standard Specification for Carbon Steel Tee Rails. West Conshohocken, PA, USA. 2018.
- ASTM. American Society for Testing Materials. E92: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. West Conshohocken, PA, USA. 2017.

CIMM. Centro de Informação Metal Mecânica. Elementos Químicos Presentes e sua Influência. 2021. Disponível em: cimm.com.br/portal/materia_l_didatico/6362-elementos-quimicos-presentes-e-sua-influencia. Acesso em: 15 jul. 2022.

DANIEL, B. T. F. Caracterização dos Trilhos Tipo TR-68 da Estrada de Ferro Carajás (EFC) para a Identificação de Defeitos por *Rolling Contact Fatigue* (RCF). 2021. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

GOMES, A. M. Caracterização Microestrutural, Mecânica e de Tensões Residuais de Trilhos Utilizados em Vilas de Transportes de Aço Líquido. 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LORENZ, G. Estudo das Manutenções e Desgastes Decorrentes do Tráfego dos Veículos Ferroviários nos Trilhos da Via Permanente da Trensurb. 2018. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2018.

MICENKO, P.; MURUGANANT, A.; LI, H.; XU, X. Double Dip Hardness Profiles in Rail Welded Heat Affected Zone – Literature and Research Review Report. CRC for rail innovation. 2013. 49 p.

MIRANDA, G. O. Influência da Variação Microestrutural Induzida Pela Soldagem Aluminotérmica nas Características do Defeito Head Check em Trilhos Ferroviários. 2020. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

MOREIRA, L. P. Influência de Tratamentos Térmicos na Resistência à Fadiga e ao Desgaste de um Aço Alto Carbono Microligado ao Nb e V de aplicação ferroviária. 2019. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2019.

NISHIKAWA, L. P. Soldagem de Trilhos Ferroviários Perlíticos: Origem das Microestruturas. 2018. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 2018.

PEREIRA, D. M. Estudo de um Modelo Numérico de Soldagem de Trilho Ferroviário: Análise Térmica. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) –



Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

PORCARO, R. R.; LIMA, D. A. P.; FARIA, G. L.; GODEFROID, L. B.; CÂNDIDO, L. C. Microestrutura e Propriedades Mecânicas de um Aço para Trilhos Ferroviários Soldado por Centelhamento. Soldagem e Inspeção. v. 270, p. 20-27, 2017.

ROSA, J. C. S. Avaliação de Solda Aluminotérmica em Ângulo. 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA, C. M. Perfil de Dureza e Composição Química da Solda e Regiões Afetadas Pela Solda Aluminotérmica de Trilhos Empregados por uma Empresa Mineradora. 2017. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

SOKEL, C. R.; NETO, V. G.; BRIGUENTE, C. A.; OROZCO, A. E. P.; MANOEL, P. A. F.; VENTRELLA, V. A.; TOKIMATSU. Avaliação da Integridade de Trilhos Ferroviários Soldados por Caldeamento. In: Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT. Joinville/SC, 2012, p. 9048-9055.

VICENTE, B. S. Proposta de Especificação de Procedimento de Soldagem por Centelhamento de Trilhos Ferroviários. 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.