

ANÁLISE DO RUÍDO DE IMPACTO EM JUNTAS ISOLADAS COLADAS EM FUNÇÃO DA PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO

Yesid Asaff Mendoza, Cristian Piehowiak, Katilene M. Nunes

RESUMO

Dentre as diversas fontes de ruído existentes em um sistema ferroviário de transporte pesado, o ruído de impacto é definido como o som impulsivo produzido pela excitação da roda e do trilho quando há uma descontinuidade nessas superfícies, como a deterioração e a falha de juntas isoladas de trilhos (JIC) resultantes da falta de manutenção nas linhas ferroviárias. O desgaste dessas juntas resulta em folgas que intensificam o impacto dinâmico das rodas, elevando os níveis de pressão sonora e contribuindo significativamente para a poluição sonora em áreas adjacentes à ferrovia. Tal situação compromete o conforto da população residente próxima à linha férrea e pode configurar violação dos limites estabelecidos por normas ambientais. Diante disso, este estudo teve como objetivo investigar a correlação entre os níveis de ruído ferroviário e o tempo decorrido desde a última substituição das JIC. Para isso, foram realizadas medições acústicas em uma ferrovia de carga ao longo de três anos, abrangendo diferentes períodos de coleta de dados e três categorias de composições: trens de minério carregados, trens vazios e trens cargueiros. Os dados analisados indicaram uma tendência de aumento da intensidade sonora à medida que as JIC envelhecem, com crescimento mais acentuado nos primeiros mil dias após a substituição, seguido por uma fase de estabilização.

Palavra-chave: ferrovia; ruído ferroviário; juntas isoladas coladas; impacto.

ABSTRACT

Among the various noise sources present in a heavy-haul rail system, impact noise is defined as the impulsive sound produced by the excitation of the wheel and rail when there is a discontinuity in these surfaces, such as the deterioration and failure of insulated rail joints (IRJ) resulting from lack of maintenance on the railway lines. The wear of these joints results in gaps that intensify the dynamic impact of the wheels, increasing sound pressure levels and significantly contributing to noise pollution in areas adjacent to the railway. This situation compromises the comfort of residents near the railway line and may constitute a violation of the limits established by environmental regulations. Therefore, this study aimed to investigate the correlation between railway noise levels and the time elapsed since the last IRJ replacement. To this end, acoustic measurements were conducted on a freight railway over three years, covering different data collection periods and three train categories: loaded ore trains, empty trains, and freight trains. The data analyzed indicated a trend of increasing the noise as the IRJ age, with the sharpest increase in the first thousand days after replacement, followed by a stabilization phase.

Keywords: railway; noise; insulated rail joints; impact.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 4 |
| 2. METODOLOGIA | 6 |
| 3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS..... | 8 |
| 4. CONCLUSÕES | 13 |
| REFERÊNCIAS | 14 |

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e os avanços nos sistemas de saúde contribuíram significativamente para o aumento da expectativa de vida da população ao longo dos séculos. No entanto, há fatores ambientais que comprometem a qualidade de vida e a saúde pública em escala global. Entre eles, destaca-se a poluição sonora, em que, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (2017), a intensificação do ruído nos centros urbanos está associada a distúrbios do sono, problemas cardiovasculares e prejuízos à saúde mental que afetam diretamente a qualidade de vida das populações expostas.

De acordo com estimativas da EEA (2025), aproximadamente 110 milhões de pessoas na Europa estão expostas a níveis nocivos de ruído ambiental, sendo atribuídas cerca de 66.000 mortes prematuras por ano a essa exposição. Estudos recentes indicam que um acréscimo de aproximadamente 4 dB no nível de ruído pode aumentar em 4% o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, inclusive durante o sono, devido à ativação de mecanismos hormonais associados ao estresse, com esses efeitos sendo ainda mais críticos em crianças e idosos (Roscoe et al., 2023; Thompson et al., 2022).

Nesse contexto, uma das estratégias mais eficazes de mitigação consiste no controle da emissão sonora diretamente na fonte (Gerges, 2000). No setor ferroviário, o ruído oriundo da locomoção de composições contribui para o agravamento da poluição sonora, independentemente da sua origem, seja aerodinâmica, de tração ou rolamento (Clausen et al., 2012). O ruído de rolagem, predominante em faixas de velocidade entre 50 km/h e 200 km/h, torna-se especialmente relevante no contexto brasileiro, uma vez que as velocidades operacionais nacionais são inferiores ao regime onde o ruído aerodinâmico é predominante (Hemsworth, 2008; ANTT, 2024).

A origem do ruído de rolagem está na interação entre as rugosidades das rodas e dos trilhos, caracterizado por um contato metálico que ao interagir, excita mecanicamente ambos os corpos e, conseqüentemente, a irradiação de ondas sonoras. Esse fenômeno é agravado pela presença de imperfeições geométricas nos trilhos, condições precárias de manutenção da via permanente e defeitos no material rodante, além de descontinuidades no trilho, incluindo juntas isoladas coladas (JIC), defeitos de união, cruzamentos ou em aparelhos de mudança de via (Thompson, 2009).

A JIC é um dispositivo essencial no sistema ferroviário, pois permite o isolamento elétrico entre seções da via, possibilitando a localização das composições e a atuação dos

sistemas automáticos de sinalização. Além de sua função eletrotécnica, as JIC viabilizam a dilatação térmica dos trilhos e, portanto, colaboram para a integridade estrutural da via. No entanto, por apresentarem rigidez à flexão inferior à dos trilhos unidos por processo de soldagem, essas juntas estão associadas a níveis de impacto mais elevados durante a passagem de composições, promovendo desgaste acelerado da via e maior emissão de ruído impulsivo (Mandal; Peach, 2010).

O impacto sonoro gerado em trechos contendo JIC é característico da operação ferroviária e sua severidade está diretamente relacionada ao estado de degradação das juntas. À medida que o número de ciclos de carga aumenta, intensificam-se os efeitos mecânicos e sonoros da descontinuidade. Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar a correlação entre a periodicidade de manutenção e o nível de pressão sonora aferido durante a passagem de composições em trechos urbanos equipados com JIC.

Com base nessa correlação, propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação sonora, voltada ao suporte das equipes técnicas de meio ambiente e via permanente de operadores ferroviários, com potencial de aplicação no planejamento de manutenção preditiva e na mitigação da poluição sonora em áreas sensíveis.

2. METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido a partir de medições realizadas ao longo de três anos em uma ferrovia de bitola métrica destinada ao transporte de carga. As análises consideraram variáveis como o tipo de carga transportada, a velocidade das composições, a localização das JIC e o intervalo de tempo decorrido desde a última substituição dessas juntas. As medições foram realizadas em trechos urbanos caracterizados pela proximidade de residências em relação à linha férrea, cenário que potencializa os impactos da poluição sonora na população local.

Foram utilizados dois medidores de pressão sonora e dois microfones acoplados diretamente a esses dispositivos, cujo os modelos apresentados na Tabela 1. O posicionamento dos equipamentos seguiu as diretrizes da norma ABNT NBR 16425-1:2020, 1,20 m em relação ao lastro da via e 4 metros de distância do trilho externo, como pode ser observado na Figura 1.

Tabela 1 - Equipamentos de medição.

| Instrumento | Fabricante | Modelo |
|---------------------------|-------------------|---------------|
| Medidor de pressão sonora | Brüel & Kjær | 2270 |
| Medidor de pressão sonora | Brüel & Kjær | 2250 |
| Microfone | Brüel & Kjær | 4189 |
| Microfone | Brüel & Kjær | 4189 |

Fonte: Autor (2025).

Figura 1 – Posicionamento do medidor.

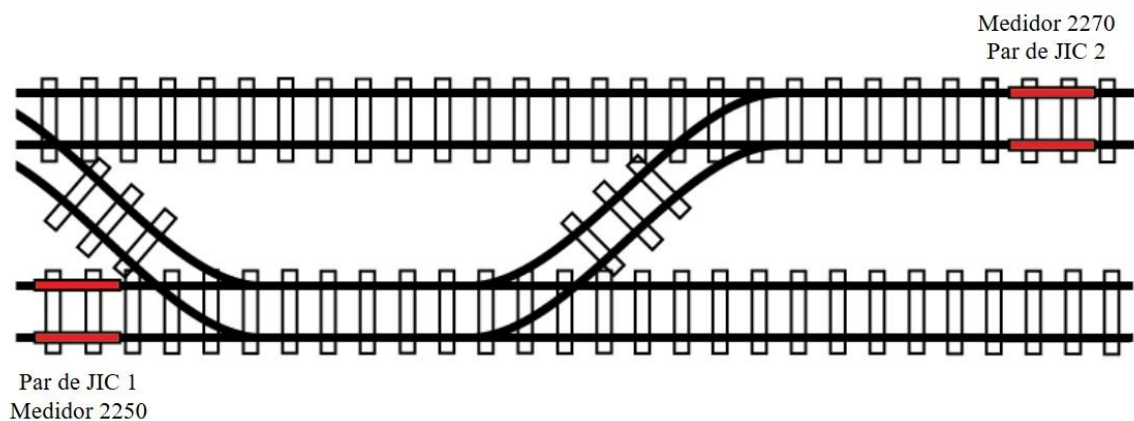


Fonte: Autor (2025).

As JIC avaliadas localizam-se em trechos dotados de aparelho de mudança de via (AMV), precedidos e sucedidos por longos segmentos tangentes, minimizando o efeito de variações dinâmicas da composição e facilitando a padronização da excitação mecânica gerada pela passagem dos trens. Para este estudo, foram selecionados dois pares de JIC em um mesmo conjunto de AMV, de modo que a mesma composição ferroviária cruzasse ambos os pares de juntas em sequência.

Foram selecionados dois pares de juntas isoladas coladas, distribuídos de forma que fossem requisitados os dados da mesma composição em dois pares JIC no mesmo AMV, conforme esquema apresentado na Figura 2. Essa escolha se deu com o intuito de avaliar a mesma composição passando em JIC com tempos de substituição diferentes.

Figura 2 – Posicionamento de JIC e medidores.



Fonte: Autor (2025).

Durante o monitoramento, os eventos de passagem foram classificados em três categorias principais: composições de minério carregadas, composições de minério vazias e trens cargueiros com cargas mistas. Essa diferenciação permite a avaliação da influência do peso total da composição sobre os níveis de pressão sonora (NPS) medidos, uma vez que composições mais pesadas tendem a gerar impactos mais severos sobre a via. Os dados coletados incluem, para cada passagem, a velocidade da composição, o NPS aferido no ponto de medição e o intervalo de tempo transcorrido desde a última substituição das JIC localizadas no trecho.

A análise dos dados sonoros foi conduzida conforme os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 16425-4:2020, que trata da medição de ruído ferroviário por meio do nível de pressão sonora ponderado em curva A (dBA). Foram considerados para análise apenas os intervalos nos quais o NPS ultrapassou em pelo menos 5 dB o nível de ruído ambiente.

Para garantir a comparabilidade entre os eventos, a velocidade de cada composição foi aferida previamente e os dados normalizados com base na metodologia de previsão de ruído de impacto proposta por Braz (2020) com base no estudo de Vér, Ventres e Myles (1976) e na formulação para o ruído de rolagem proposto por Thompson (2009), que permite estimar o nível sonoro esperado para uma velocidade de referência. Essa correção visa reduzir a influência de variações operacionais e possibilitar a análise isolada da influência do estado das JIC sobre os níveis de ruído registrados.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das medições realizadas conforme os procedimentos descritos na metodologia. Inicialmente, são analisados os NPS registrados durante a passagem das composições ferroviárias, agrupados de acordo com o tempo decorrido desde a última substituição das juntas isoladas coladas (JIC) e classificados conforme o tipo de trem. Em seguida, discute-se a correlação entre o envelhecimento das JIC e a elevação

dos níveis sonoros registrados, com base na tendência observada ao longo das campanhas de medição.

Durante o período de coleta, foram realizados registros fotográficos da condição física das JIC, com o intuito de documentar visualmente o estado estrutural das juntas nas datas em que houve aferição do nível de pressão sonora. Na Figura 3 pode ser observado o par de JIC 1 após 1.124 dias desde a última substituição, enquanto na Figura 4 é possível a mesma junta aos 1.229 dias.

Figura 3 – Par de JIC 1 aos 1124 dias após a última substituição. (AGO)



Fonte: Autor (2025).

Figura 4 – Par de JIC 1 aos 1229 dias após a última substituição.(DEZ)



Fonte: Autor (2025).

Para garantir a representatividade da amostra, foram avaliadas diferentes composições ferroviárias em múltiplos períodos de coleta. Na Tabela 2 é possível observar a distribuição das medições realizadas por tipo de trem e pela diversidade temporal das avaliações. Foram contempladas 18 passagens de composições carregadas com minério, 16 passagens de trens de minério vazios e 17 passagens de trens cargueiros, totalizando 51 eventos analisados ao longo do estudo.

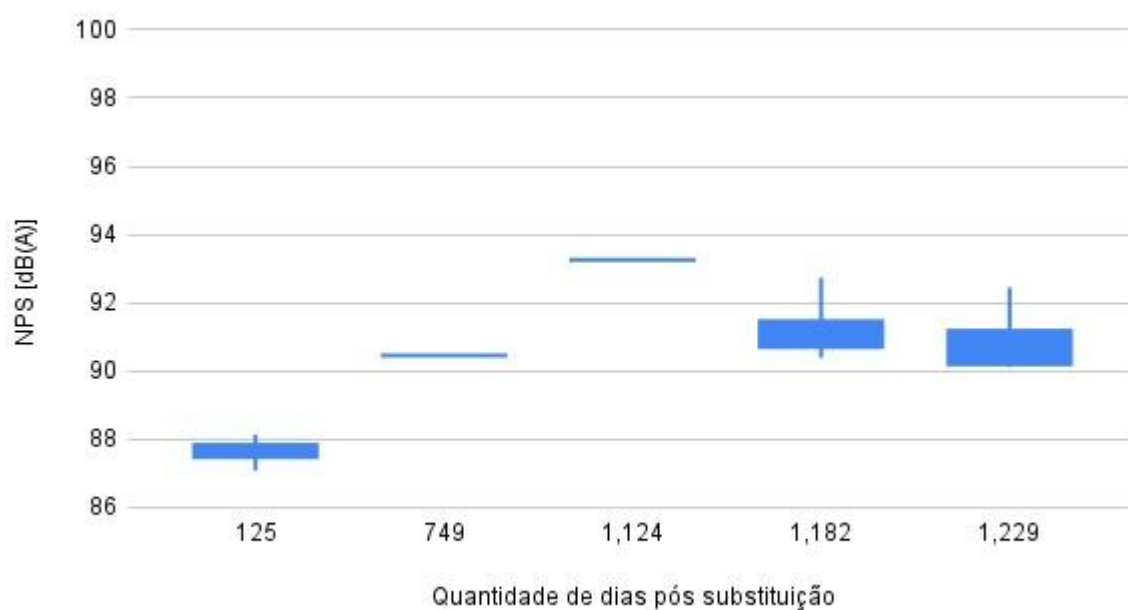
Tabela 2 - Quantidade de avaliações.

| Tipo de trem | Número de trens | Diversidade de datas avaliadas |
|---------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Minério carregado | 18 | 5 |
| Minério sem carga | 16 | 4 |
| Cargueiro | 17 | 5 |

Fonte: Autor (2025).

Os dados de NPS, após tratamento e normalização, foram organizados em gráficos do tipo *boxplot*, permitindo uma visualização clara da dispersão dos níveis registrados em função do tempo decorrido desde a última troca das JIC. Cada grupo de composições foi analisado separadamente, de modo a considerar as diferenças estruturais e operacionais entre os tipos de trens. Na Figura 5 é possível observar os resultados referentes aos trens de minério carregados. Observa-se uma tendência clara de elevação do NPS à medida que o tempo de uso da JIC aumenta. Em relação à primeira medição realizada, com 125 dias após a substituição, identificou-se um acréscimo de até 7 dB(A) após 1.182 dias, com crescimento gradual até cerca de 1.000 dias, ponto a partir do qual os valores tendem à estabilização.

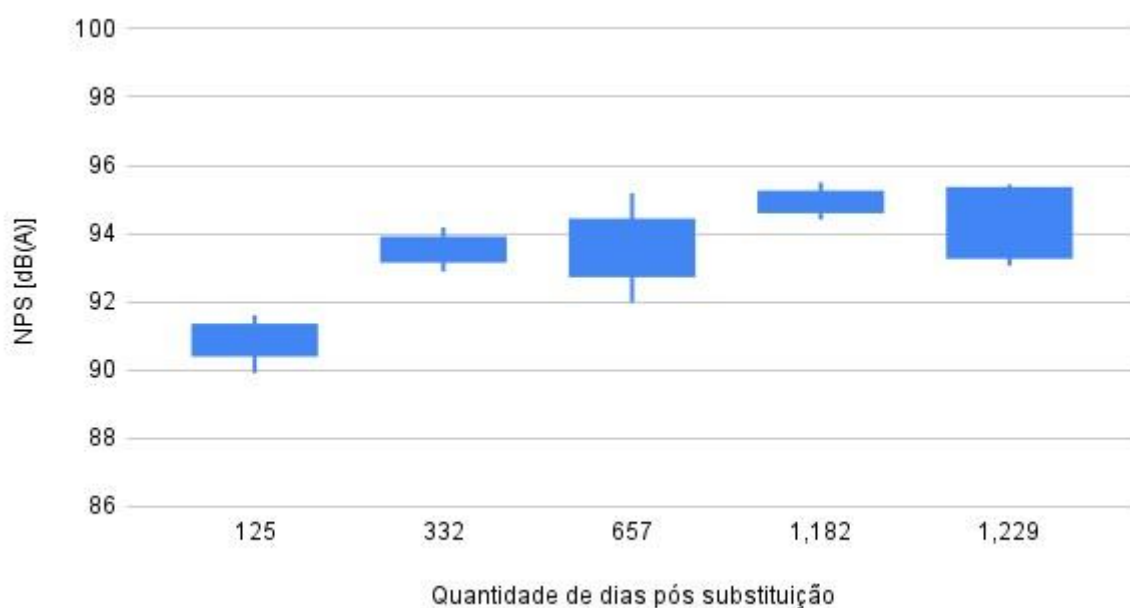
Figura 5 – NPS aferido para trens carregados com minério.



Fonte: Autor (2025).

Tendência semelhante foi observada para os trens de minério sem carga, conforme pode ser observado na Figura 6. Embora haja uma diferenciação dos níveis absolutos, a progressão do NPS em função do tempo segue comportamento compatível com o observado nas composições carregadas, sugerindo que a degradação da JIC influencia diretamente até cerca de 1.000 dias.

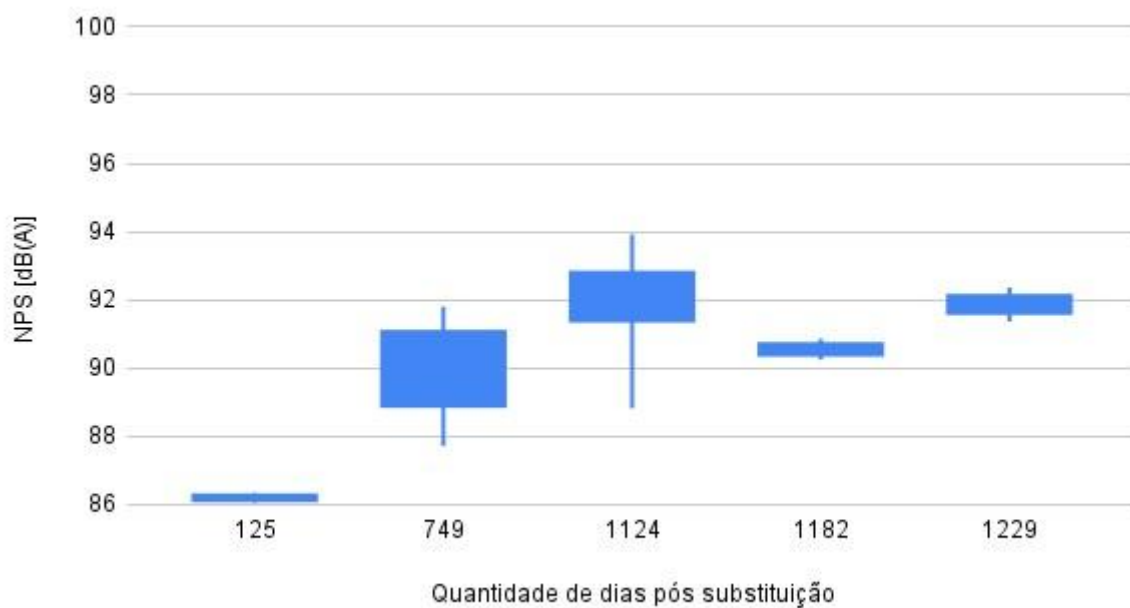
Figura 6 – NPS aferido para trens de minério sem carga.



Fonte: Autor (2025).

No caso das composições do tipo cargueiro, representadas na Figura 7, observou-se uma dispersão mais acentuada dos valores de NPS. Essa maior variabilidade está associada à heterogeneidade dos tipos de carga e à configuração dos vagões, uma vez que, diferentemente dos trens de minério, que são compostos exclusivamente vagões gôndola, enquanto trens cargueiros apresentam composição mista, tanto em peso quanto em geometria. Ainda assim, nota-se uma tendência geral de aumento do NPS com o envelhecimento das JIC, podendo alcançar até 9 dB(A), conforme pode ser observado na Figura 7.

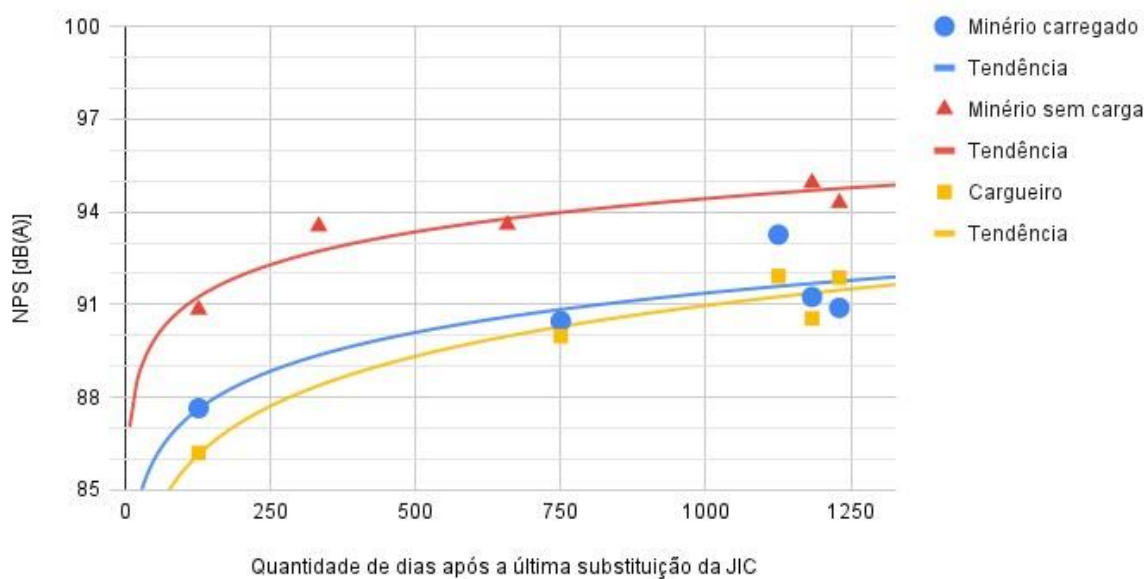
Figura 7 – NPS aferido para trens do tipo cargueiro.



Fonte: Autor (2025).

Com o intuito de proporcionar uma visualização mais clara dos resultados obtidos, foi realizada uma compilação dos dados de todas as campanhas anteriores. Na Figura 8, os pontos representados correspondem à média dos níveis de pressão sonora aferidos em cada campanha, conforme os três tipos de composições ferroviárias e organizados ao longo de uma linha temporal. A partir desses valores médios, foi aplicada série de potência, com o objetivo de identificar a tendência de variação dos níveis sonoros ao longo do tempo desde a última substituição das JIC.

Figura 8 – Dispersão no tempo das médias de cada campanha após a substituição da JIC



Fonte: Autor (2025).

Os dados descritos evidenciam a relevância da substituição periódica das JIC no controle da emissão sonora em trechos urbanos. A degradação progressiva das juntas eleva os níveis de ruído irradiado durante a passagem das composições por trechos de JIC, sobretudo em situações de longos períodos após a substituição.

4. CONCLUSÕES

Os elevados níveis de pressão sonora gerados durante a operação ferroviária, quando perceptíveis e incômodos à população, são classificados como ruídos e podem configurar um problema de saúde pública, sobretudo em áreas urbanas. Dentre as diversas fontes sonoras associadas ao sistema ferroviário, encontra-se o ruído decorrente do impacto de rodas em discontinuidades da via permanente, como ocorre nas JIC, cujo impacto gerado potencializa a intensidade sonora no momento da passagem das composições.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da degradação das JIC nos NPS aferidos durante a passagem de composições ferroviárias em trechos urbanos. A partir de medições realizadas ao longo de três anos, em uma ferrovia voltada ao transporte de carga, foi possível estabelecer uma correlação entre o tempo decorrido desde a última substituição das JIC e o aumento dos níveis sonoros registrados.

Os resultados demonstraram que, à medida que a junta permanece em operação por períodos mais longos, há uma tendência clara de elevação no NPS irradiado, com variações de até 9 dB(A) ao longo do ciclo de vida das juntas avaliadas. Essa tendência foi verificada de forma consistente em composições de minério carregadas, composições vazias e trens cargueiros. Observou-se, ainda, que o aumento dos níveis de pressão sonora ocorre predominantemente nos primeiros 1.000 dias após a substituição da JIC, período no qual os valores se elevam de forma progressiva, e a partir desse ponto, os níveis sonoros tendem à estabilização.

As evidências obtidas confirmam que o estado de conservação das JIC influencia a emissão sonora associada à operação ferroviária. O acúmulo de desgaste e folgas estruturais nas juntas compromete a continuidade do trilho, ampliando o impacto gerado pela interação roda-trilho e intensificando o ruído de impacto percebido em áreas adjacentes à ferrovia.

Diante desse cenário, ressalta-se a importância da substituição preventiva e do monitoramento contínuo das JIC como estratégia para mitigar os efeitos da poluição sonora em áreas urbanas, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental e o atendimento às normas de conforto acústico. Além disso, os dados obtidos fornecem subsídios para o desenvolvimento de uma ferramenta de análise preditiva, com potencial aplicação nas rotinas operacionais das equipes de meio ambiente e via permanente das operadoras ferroviárias.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário do Setor Ferroviário**. 2024. Acesso em: 12 mar. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/ptbr/assuntos/ferrovias/anuario-do-setor-ferroviario>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16425-4**: Acústica – medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes – Parte 4: Sistema ferroviário. Rio de Janeiro, 2020.

Braz, L. **Aplicação de modelos analíticos para previsão de ruídos em sistemas ferroviários utilizados para transporte de cargas**. 2020. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Ferroviária e Metroviária) — Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2020.

CLAUSEN, U. et al. **Reducing Railway Noise Pollution**. Brussels, 2012. Requested by the Committee on Transport and Tourism.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Relatório. **Environmental Noise in Europe 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe-2025>.

GERGES, S. N. **Ruído**: fundamentos e controle. São Paulo: NR Editora, 2000.

HEMSWORTH, B. Environmental noise directive development of action plans for railways. **UIC Noise Expert Network: International Union of Railways (UIC)**, Union Internationale des Chemins de fer (UIC). Paris, France, 2008.

MANDAL, N.; PEACH, B. **An engineering analysis of insulated rail joints: a general perspective**. 2010. Acesso em: 29 jul. 2025. Disponível em: https://acquire.cqu.edu.au/articles/journal_contribution/An_engineering_analysis_of_insulated_rail_joints_a_general_perspective/13451627.

ROSCOE, C. et al. Association between noise and cardiovascular disease in a nationwide U.S. prospective cohort study of women followed from 1988 to 2018. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 12, p. 127005, 2023. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/abs/10.1289/EHP12906>.

THOMPSON, D. **Railway noise and vibration**: mechanisms, modelling and means of control. Amsterdam: Elsevier, 2009.

THOMPSON, R. et al. **Noise pollution and human cognition**: An updated systematic review and meta-analysis of recent evidence. *Environment International*, v. 158, p. 106905, 2022. ISSN 0160-4120. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021005304>.

VÉR, I. L.; VENTRES, C. S.; MYLES, M. M. **Wheel/rail noise - part III**: Impact noise generation by wheel and rail discontinuities. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier BV, v. 46, n. 3, p. 395–417, jun. 1976. DOI: <10.1016/0022-460X(76)90863-4>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental Noise Guidelines for the European Region**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29292769/>