

CATEGORIA 2

ANÁLISE ACÚSTICA DE UMA FERROVIA DE CARGA NO BRASIL

AUTORES

Thiago A. FIORENTIN, Laura D. V. BRAZ, Yesid E. A. MENDOZA

INTRODUÇÃO

Apesar das facilidades e avanços proporcionados pelo desenvolvimento tecnológico, nota-se uma aceleração da degradação ambiental com o aumento das fontes de poluição. Entre elas, o ruído ambiental proveniente de sirenes, alarmes de carros e casas, templos religiosos, buzinas, sistemas de transporte, entre outras fontes, tem se tornado motivo de incômodo em áreas urbanas [1-5], apud [2].

Embora o Brasil tenha baixa densidade de rede ferroviária em relação a outros países de dimensões continentais, as ferrovias são importantes para o país. Elas são responsáveis por 15% do transporte de mercadorias do país, e mais de 95% dos minérios chegam aos portos por vias férreas [6]. A caminho dos portos, as composições cruzam diversas cidades e por vezes incomodam a população vizinha, principalmente por não haver leis brasileiras que limitem o ruído ferroviário [2]. Isso constitui um obstáculo significativo à ampliação do transporte ferroviário de cargas [7].

O objetivo desse trabalho é analisar o ruído gerado por uma ferrovia brasileira utilizada para o transporte de cargas. Serão apresentados valores de nível de pressão sonora gerado pela ferrovia e na sequência algumas análises que ajudam a entender a origem desse ruído.

DIAGNÓSTICO

Um número significativo de moradores, particularmente aqueles que vivem perto de estradas, aeroportos e ferrovias, estão sujeitos ao ruído gerado por esses sistemas. Dependendo da sensibilidade da pessoa e da forma como convive com o problema, entre outros fatores, haverá reclamações com relação ao incômodo provocado pelo barulho. Após um período considerável de perturbação, alguns indivíduos podem apresentar problemas de saúde como pressão alta, depressão, insônia, entre outros. Dessa forma, a poluição sonora, incluindo a gerada pelo sistema ferroviário, representa um risco significativo à saúde daqueles expostos ao ruído.

O ruído também pode ter impacto econômico nas populações vizinhas às fontes de poluição sonora. No caso dos sistemas de transporte, geralmente, há desvalorização imobiliária nas regiões adjacentes às vias. Em função disso, é importante buscar um equilíbrio entre a necessidade de novas vias e os impactos ambientais.

FONTES DE RUÍDO EM SISTEMAS FERROVIÁRIOS DE CARGA

Existem várias fontes de ruído diferentes em um sistema ferroviário, e aquela considerada dominante varia de acordo com a situação operacional [8].

O ruído de rolamento (rolagem), uma das principais formas de ruído ferroviário, é causado pelas rugosidades presentes na superfície de rodas e trilhos, que induzem vibrações verticais e resultam na irradiação sonora. A frequência dessas vibrações e, conseqüentemente, do ruído depende da velocidade da composição e do comprimento de onda da rugosidade do conjunto roda/trilho [5], [7]. O esmerilhamento de trilhos, a adição de amortecedores em rodas e trilhos e o uso de modificadores de atrito são soluções que oferecem redução no nível de ruído de rolagem [8].

O ruído de impacto é o som impulsivo produzido pela excitação da roda e do trilho quando há alguma descontinuidade nas suas superfícies, como juntas em trilhos e achatamentos nas rodas [9]. Quando uma roda rola sobre uma junta, grandes forças de impacto são geradas e, assim, surge o ruído de impacto [11]. A manutenção da via pode ajudar a atenuá-lo, garantindo que as juntas não estejam desalinhadas vertical ou horizontalmente [9].

O *squeal* é um tipo de ruído gerado pela interação entre rodas e trilhos quando um trem negocia uma curva. É altamente tonal e costuma ocorrer em frequências nas quais o ouvido humano tem maior sensibilidade [8], [12], [13]. Thompson [8] diz que os principais tons do ruído em curvas ocorrem entre 250 Hz e 5 kHz. Para outros autores as faixas de frequência são um pouco diferentes [14], [15]. As soluções para o *squeal* incluem adição de amortecimento nas rodas, redução da carga, o uso de lubrificantes de trilhos e limitação da velocidade máxima permitida em curvas.

Existem outras fontes de ruído em trens de carga, como freios, buzinas e locomotivas [16], [17]. Por ser um item de segurança, o controle do ruído da buzina é bastante limitado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma ferrovia de bitola métrica, localizada no sudeste do Brasil, com 905 km de extensão e usada principalmente para transporte de minério de ferro. A maioria das composições são formadas por 244 vagões GDE abertos carregados com minério de ferro. Quando vazio, cada vagão pesa cerca de 16,5 ton e pode carregar cerca de 93,5 ton, logo seu peso total pode alcançar até 110 ton.

No Brasil, não existem normas que especifiquem metodologias para medição e os limites máximos para o ruído ferroviário. Portanto, a análise foi baseada na norma NBR 10151, que trata da avaliação do ruído em áreas habitadas [18]. As medições dos níveis de pressão sonora (NPS) foram realizadas nas posições mic 1 e mic 2 indicadas na Figura 1.

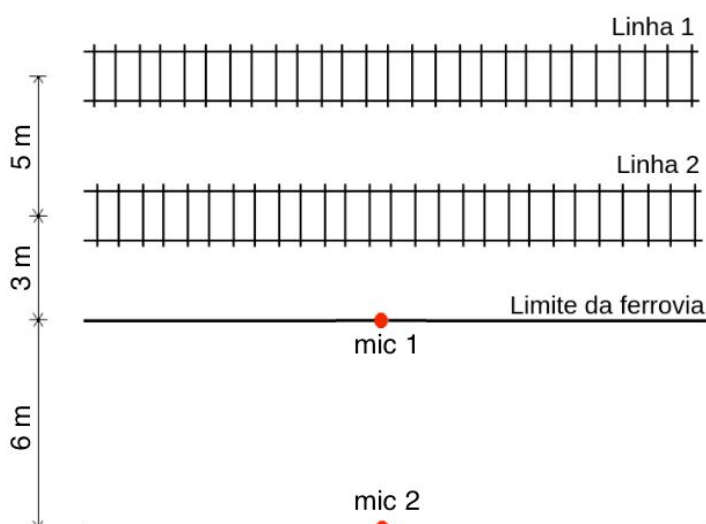


Figura 1: Locais de medição dos níveis de pressão sonora.

Foi utilizado um analisador de sinais (LMS Pimento) e um microfone da Brüel&Kjaer, modelo 4189, posicionado a 1,2 m de altura do solo. Também foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora modelo 2270 fabricado pela empresa B&K. A medição foi realizada considerando duas condições: uma composição com vagões carregados e outra com vagões vazios. Foram feitas medições a três e a nove metros do centro da linha 2.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados das medições considerando composições com vagões vazios e carregados.

Níveis de Ruído

A Figura 2 apresenta os resultados do NPS medido durante a passagem de uma composição carregada de minério de ferro e outra vazia, ambas trafegando pela linha 2. Nesses testes, o microfone estava posicionado no limite da ferrovia - a três metros de seu centro (mic 1). As medições fornecem os valores globais de 96,7 dB(A) para a composição vazia e 90,7 dB(A) para a composição carregada. Na Figura 2 é possível observar a distribuição desses níveis de pressão sonora ao longo do espectro de frequências em bandas de oitava.

A diferença de 6,0 dB(A) entre o nível global de pressão sonora gerado pela composição vazia e carregada está relacionada com a vibração dos vagões. Nos vagões vazios a estrutura fica livre para vibrar e, conseqüentemente, irradiar ruído. Quando o

vagão é carregado, a estrutura tem menos mobilidade, e a carga absorve parte dessa energia de vibração, resultando em um nível de pressão sonora menor.

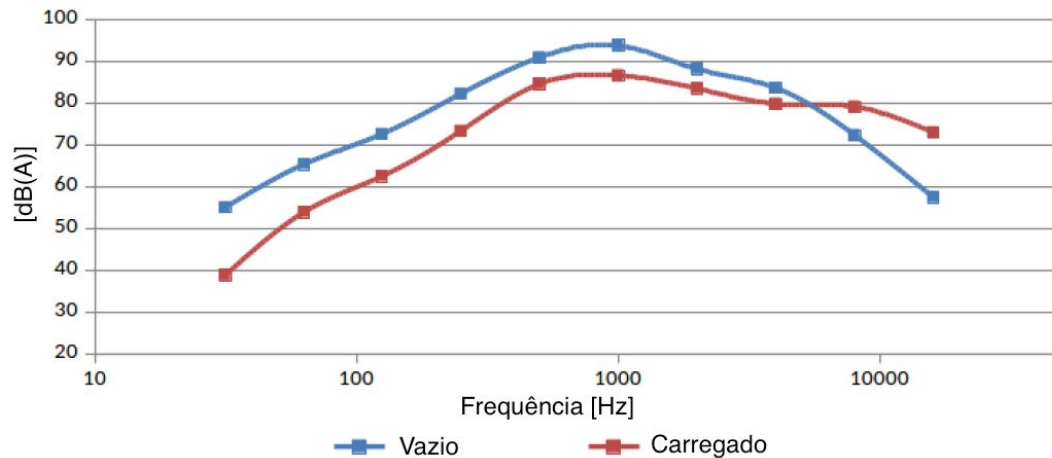


Figura 2: Nível de pressão sonora de composição vazia e carregada a 3 metros de distância do centro da linha 2.

Existe uma correlação, apresentada na Figura 3, entre o nível de ruído gerado por diferentes fontes de uma composição e sua velocidade de circulação. Analisando a imagem e considerando que as composições medidas trafegavam com velocidade aproximada de 70 km/h, infere-se que o tipo de ruído dominante nesse caso é o ruído de rolamento. Ainda de acordo com o gráfico, o nível de pressão sonora gerado por composições trafegando a essa velocidade é de 90 dB(A), aproximadamente. O NPS obtido durante a medição em campo confirma aquele apresentado na literatura.

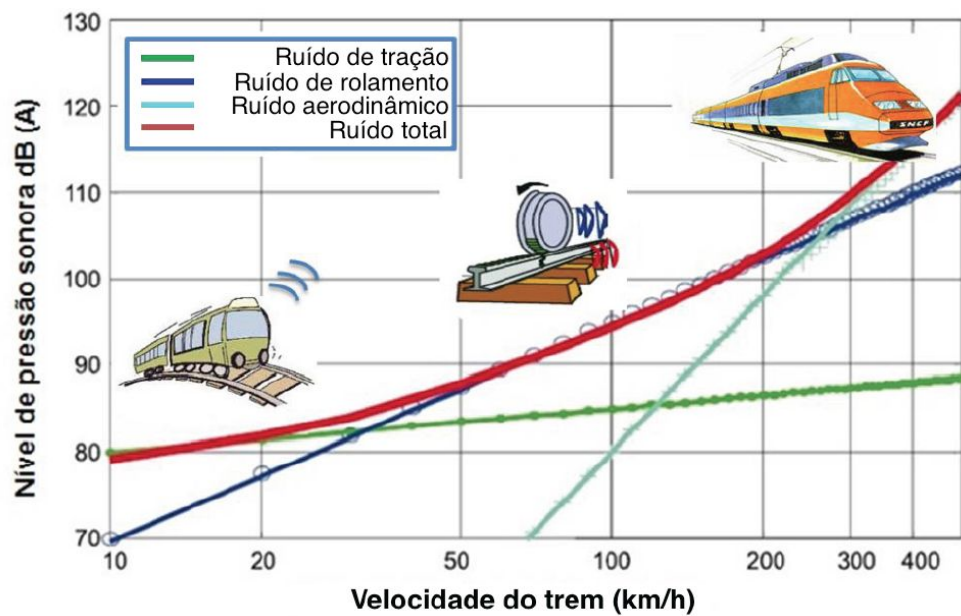


Figura 3: Principais fontes de ruído em função da velocidade de circulação dos trens [19].

Discussão

O nível de ruído gerado pelo tráfego ferroviário, e que atinge as comunidades vizinhas, representa um importante problema de poluição ambiental. Em função disso, foram feitas medições a nove metros de distância do centro da linha, fora dos limites da ferrovia.

A Figura 4 mostra o NPS medido durante a passagem de uma composição carregada de minério de ferro e outra vazia, ambas trafegando pela linha 2. O ruído emitido pelo trem vazio é maior que o emitido pelo trem carregado, 77,7 dB(A) com vagões vazios e 72,3 dB(A) com a composição carregada de minério. Os maiores valores de ruído são identificados na frequência de 1.000 Hz.

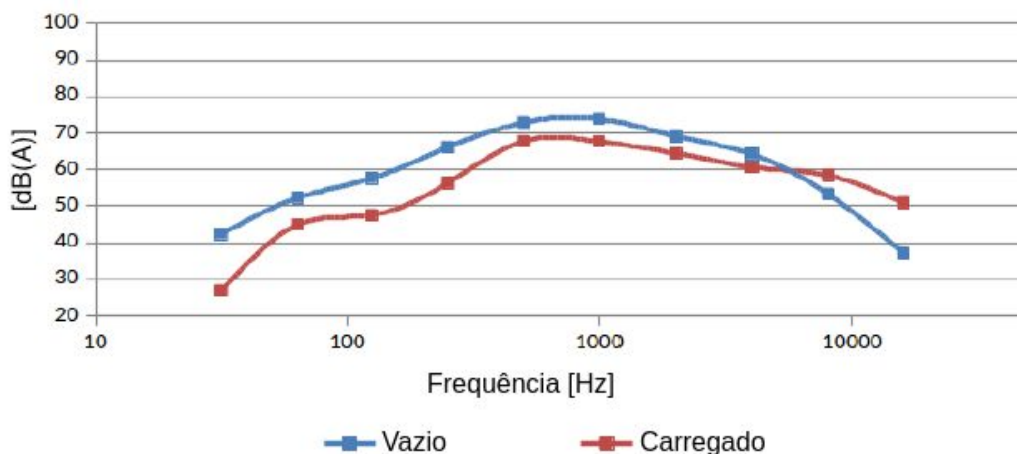


Figura 4: Nível de pressão sonora de composição vazia e carregada a 9 metros de distância do centro da linha 2.

A norma NBR 10151 [18] define o nível de critério de aceitação (NCA) em dB(A) para diferentes ambientes externos. Por exemplo, para uma área predominantemente industrial o NCA diurno é de 70 dB(A) e o noturno é de 60 dB(A). Para outros ambientes o nível de critério de aceitação apresenta valores menores. Dessa forma, caso o trecho da ferrovia analisada estivesse localizado próximo a áreas habitadas os níveis de ruído estariam acima dos valores recomendados pela norma.

No entanto, como as construções costumam estar fora da faixa de domínio da ferrovia, que é de 15 metros a partir de seu centro, os valores de ruído são menores do que os medidos na posição mic 2.

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a emissão de ruído de um sistema ferroviário de carga na região sudeste do Brasil. Foram utilizadas medições do nível de pressão sonora gerado durante a passagem de composições carregadas e vazias.

Correlacionando os valores de NPS medidos e a velocidade de circulação do trem com dados da literatura é possível concluir que a principal fonte de ruído no sistema analisado é a rugosidade presente na superfície de rodas e trilhos, que induz vibrações verticais e resulta na irradiação sonora.

As medições feitas fora dos limites da ferrovia mostram que os níveis de ruído são um pouco elevados. Quando comparados os valores medidos com os níveis recomendados pela norma NBR 10151 há algumas diferenças em função do tipo de ambiente externo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a empresa VALE S.A. pelo suporte financeiro e operacional no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nagem, M., "Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia". 2004. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004
2. Zannin, P. T. and Bunn, F., "Noise annoyance through railway traffic - a case study". Journal of Environmental Health Science and Engineering, Vol. 12, January, 2014. Springer Nature.
3. Fiorentin, T. A.; Ferguson, N. S. ; Renno, J. M. ; Lenzi, A., "Structural response of an aircraft fuselage to hydraulic system - A wave and mobility approach". Noise Control Engineering Journal, v. 61, p. 87-99, 2013.

4. Fiorentin, T. A.; Lopes, L. F. ; Silva Junior, O. M.; Lenzi, A., "Vibroacoustic Models of Air-Core Reactors". International Journal of Acoustics and Vibration, v. 21, p. 453-461, 2016.
5. Fiorentin, T. A.; Mikowski, A. ; Silva Junior, O. M. ; Lenzi, A., "Noise and Vibration Analysis of a Heat Exchanger: a Case Study". International Journal of Acoustics and Vibration, v. 22, p. 270-275, 2017.
6. Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF). Informações gerais, <https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>
7. Jiang, J., Hanson, D. and Dowdell, B., "At-source control of freight rail noise: A case study". Acoustics Australia, Vol. 43, No. 3, pp. 233-243, September 22, 2015. Springer Nature.
8. Thompson, D. J., "Railway noise and vibration: Mechanisms, modelling and means of control". Oxford: Elsevier, 2009.
9. Remington, P. J., Rudd, M. J. and Vér, I. L., 1975 Department of Transportation Report No. UMTA-MA-06-0025-75-11. Wheel/rail noise and vibration.
10. Sadeghi, J. and Hasheminezhad, A., "Correlation between rolling noise generation and roughness of tangent tracks and curves in time and frequency domains". Applied Acoustics, Iran, pp. 10–18, 2016.
11. Wu, T. C. and Thompson, D. J., "On the impact noise generation due to a wheel passing over rail joints". Journal of Sound and Vibration, Vol. 267, No. 3, pp. 485-496. October, 2003. Elsevier BV.
12. Meehan, P. A. and Liu, X., "Modelling and mitigation of wheel squeal noise amplitude", Journal of Sound and Vibration. Vol. 413, pp. 144-158, 2018.

13. Anderson, D., Wheatley, N., Fogarty, B., Jiang, J., Howie, A. and Potter, W.,
“Mitigation of curve squeal noise in Queensland, New South Wales and South
Australia”. Conference On Railway Engineering, Australia, pp. 625–636, 2008.
14. Glocker, C., Cataldi-Spinola, E. and Leine, R., “Curve squealing of trains:
Measurement, modelling and simulation”. Journal of Sound and Vibration, Vol.
324, pp. 365–386, 2009.
15. Hanson, D., Dowdell, J. J. B. and Dwight, R., “Curve squeal: Causes, treatments
and results”. Inter.noise, 2014.
16. Wang, D. W., Mo, J. L., Lui, M. Q., Li, J. X., Ouyang, H., Zhu, M. H. and Zhou, Z.
R., “Improving tribological behaviours and noise performance of railway disc
brake by grooved surface texturing”. Wear, Vol. 376-377, pp. 1586–1600, 2017.
17. Remington, P. J., Knight, J. K., Hanna, D. and Rowley, C., “A hybrid
active/passive exhaust noise control system for locomotives”. Journal of the
Acoustical Society of America, United Kingdom, Vol. 117, n. 1, pp. 68–78, 2005.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10151: Acústica -
Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade –
Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000.
19. WORKING GROUP RAILWAY NOISE OF THE EUROPEAN COMMISSION. Position
Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement.
European Communities, 2003. Disponível em:
<http://ec.europa.eu/transport/rail/ws/doc/position--paper.pdf>.