

Análise de ruído interno para avaliação de conforto acústico dos passageiros da Trensurb¹

Internal noise analysis for acoustic comfort assessment of Trensurb passengers

Ricardo Garavello Strauch²
Juan Pablo Raggio Quintas³

Resumo

Medidas do nível de pressão sonora foram realizadas nos trens de superfície da região metropolitana de Porto Alegre, operados pela Trensurb, por se tratar de um tipo de poluição considerado um problema de saúde pública mundial. A poluição sonora tem por característica não se acumular no meio ambiente e está presente no dia a dia dos cidadãos e, portanto, muitas vezes, acaba passando despercebida pelas pessoas. Nos centros urbanos, a poluição sonora tem grande influência na qualidade de vida das pessoas, afetando os mais diversos aspectos fisiológicos. Apesar de a Trensurb ser um transporte de grande auxílio para o trânsito de Porto Alegre e região metropolitana, é notório para seus passageiros o desconforto causado pelo ruído emitido por esse veículo, e pouco se sabe sobre o impacto sonoro que esse ruído gera para os viajantes. Nesse viés, um estudo foi realizado dentro do trem urbano de Porto Alegre, para averiguar a que níveis de pressão sonora os passageiros estão submetidos.

Palavras-chave: Ruído. Conforto em trens. Nível de exposição normalizada.

Abstract

Sound pressure level measurements were performed on the urban trains of the metropolitan area of Porto Alegre, operated by Trensurb, since it is a type of pollution considered a global public health problem. Noise pollution has the characteristic of not accumulating in the environment and it is present in the daily lives of citizens and, therefore, often goes unnoticed by people. In urban centers, noise pollution has a great influence on people's quality of life, affecting the most diverse physiological aspects. Although Trensurb is a great transport aid for the transit of Porto Alegre and metropolitan region, it is notorious for its passengers the discomfort caused by the noise emitted by this vehicle, and little is known about the sonorous impact that this noise generates for the travelers. In this respect, a study was carried out within the urban train of Porto Alegre to verify what levels of sound pressure the passengers are submitted.

Keywords: Noise. Comfort on trains. Normalized exposure level.

¹ Este artigo é resumo do trabalho de conclusão de curso apresentado na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil, em 28.11.2016, sob a orientação do Dr. Juan Pablo Raggio Quintas.

² Bacharel em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia Mecânica na UFRGS. E-mail: ricardogaravello@hotmail.com

³ Doutor em Engenharia Mecânica e mestre em Engenharia Civil pela UFRGS. Professor adjunto no Departamento de Engenharia Mecânica, com ênfase em Dinâmica dos Corpos Rígidos, Elásticos e Plásticos na UFRGS. E-mail: pablo@ufrgs.br

Artigo recebido em 19.04.2018 e aceito em 13.02.2019.



1 Introdução

A mobilidade é um dos elementos de grande estudo e preocupação nos centros urbanos, uma vez que carece de atenção e uma complexa logística. De acordo com o portal de notícias da Prefeitura de Porto Alegre (2016), seus cidadãos despendem, em média, vinte e nove (29) minutos do seu tempo diário, apenas com deslocamento para o trabalho dentro da cidade. Os transportes urbanos coletivos exercem papel fundamental na tentativa de minimizar esse tempo, visando diminuir o trânsito de automóveis, por conseguinte os congestionamentos, permitindo que o fluxo nas vias aconteça de forma mais rápida e eficiente.

Os trens urbanos, bem como os metrô, são protagonistas dessa logística, tendo em vista que eles não circulam pelas mesmas vias que os demais veículos. Além de terem uma capacidade altamente superior de transportar passageiros e, em muitos casos, interliga as cidades com suas regiões metropolitanas, o que é o caso da Trensurb.

Todavia, esse tipo de transporte, em muitos lugares do Brasil, ainda carrega consigo uma série de limitações, seja por falta de investimentos, e/ou, até mesmo, questões tecnológicas, que acabam gerando desconforto a seus passageiros, como vibrações e ruídos.

O ruído emitido pelo trem é, majoritariamente, proveniente do atrito entre o truque e o trilho e seu valor pode variar de acordo com a velocidade de deslocamento do trem, com o tipo de via sobre a qual ele circula, com o estado em que ela se encontra, bem como a forma na qual o operador conduz o veículo.

O ruído pode chegar a valores prejudiciais, não somente à audição dos passageiros, como também, acarretar em danos a outros aspectos físicos. Gerges (2000) afirma que os danos causados pelo ruído podem resultar em mudanças de comportamento, como cansaço mental, estado crônico de nervosismo, estresse e, até mesmo, alterações do sistema imunológico.

Segundo a Associação dos Moradores do Distrito de Évora (2003), a queda do rendimento escolar, condutas antissociais, acidentes de trabalho e a tendência para o abandono das cidades, são algumas das consequências geradas pelo principal agente da poluição sonora: o ruído.

No entanto, traçando um paralelo com as atividades industriais, é possível adotar diversas medidas de controle, a fim de amenizar os sons indesejáveis ocasionados pelo trem, como o isolamento da fonte, atuação na fonte e a redução da reverberação (IIDA, 2005).

1.1 Motivação

O transporte ferroviário que interliga Porto Alegre com uma parte da região metropolitana (Trensurb) é um dos veículos mais utilizados no centro urbano e, segundo Fedozzi e Soares (2015), em 2014, a média de passageiros diários se aproximou dos 200 mil passageiros/dia, ou seja, o equivalente a 15% da população da capital.

Tendo em vista a existência de poucos estudos que cruzam esses dois aspectos mencionados nos parágrafos supracitados, um estudo de análise do impacto, causado pela exposição ao ruído sobre os passageiros, mostra-se extremamente útil e interessante à comunidade.

2 Objetivos

Avaliar o conforto acústico dos passageiros do trem urbano da Região Metropolitana de Porto Alegre, através de medição dos Níveis de Pressão Sonora (NPS) obtidos, durante o trajeto em comparação com os parâmetros definidos na NBR 13067 - "Carro Metropolitano - Determinação dos níveis de ruído", Associação Brasileira de Normas Técnicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a) e na NBR 13068 - "Ruídos internos e externos em carro metropolitano e Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)", (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b).

3 Fundamentos teóricos

3.1 Ruído

O ruído foi definido por diversos autores, como Fernandes (2002), Almeida *et al.* (2000), e Ruiz *et al.* (2000), como uma sobreposição de sons, originados de várias fontes, sem que haja uma ordem lógica e/ou periodicidade de sua frequência e amplitude, causando uma sensação auditiva desagradável.

De acordo com Gerges (2000), o ruído é um tipo sonoro desagradável e indesejado. O autor ainda explicita que a potencialidade de perturbações auditivas não se deve apenas ao nível do som, mas também ao tempo de exposição.

Segundo a NR 15 (GUIA TRABALHISTA, 2014) o ruído é classificado em três tipos: contínuo, intermitente e de impacto. Não há uma diferenciação entre o ruído contínuo e o intermitente descrito pela norma, no entanto, ela aponta apenas que esses dois tipos seriam os ruídos que não são de impacto. O ruído de impacto é caracterizado como um pico de energia sonora com duração menor que um segundo, com intervalos maiores que um segundo.

Por fim, Bistafa (2006) define ruído como um som sem harmonia e, às vezes negativo, porém, que depende do contexto em que está sendo aplicado, pois pode transmitir informações úteis. Vale ressaltar que o nível sonoro equivalente, Leq, por exemplo, pode ser definido como um nível de ruído contínuo que possui a mesma energia acústica que os níveis de origem, para um determinado intervalo de tempo. Essa definição é muito parecida com a do nível sonoro equivalente de ruído contínuo, LAeq, que representa o nível de pressão sonora medido, utilizando o filtro de ponderação A.

Outro conceito a ser inserido na análise do ruído, é o Nível de Exposição Normalizado (NEN) que, de acordo com a NHO 01 (FUNDACENTRO, 2001), corresponde ao nível médio representativo da exposição diária do trabalhador avaliado, convertido para uma jornada padrão de 8h de trabalho diárias.

O NEN é determinado pela seguinte expressão:

$$\text{NEN} = \text{NE} + 10 \log \left(\frac{\text{TE}}{480} \right) [\text{dB}] \quad (1)$$

onde:

NE = nível médio representativo da exposição ocupacional diária;

TE = tempo de duração, em minutos, da jornada de trabalho;

O NE, por sua vez, é determinado pela seguinte expressão:

onde:

$$\text{NE} = 10 \times \log \left(\frac{480}{\text{TE}} \times \frac{\text{D}}{100} \right) + 85 [\text{dB}] \quad (2)$$

NE = nível de exposição;

TE = tempo de duração, em minutos, da jornada de trabalho;

D = dose diária de ruído em porcentagem.

3.2 Efeitos do ruído no corpo humano

Segundo Mendes, Catai e Alberti (2009), a exposição a níveis de pressão sonora elevados por longos períodos de tempo pode não apenas gerar perturbações funcionais no organismo, como também causar problemas que vão desde o incômodo até sérias lesões auditivas, as quais muitas vezes são irreversíveis.

Segundo a Associação dos Moradores do Distrito de Évora (2003), o ruído atua através do ouvido sobre os sistemas nervoso central e autônomo. Quando o estímulo ultrapassa certos limites, produz-se surdez e efeitos patológicos em ambos os sistemas, tanto instantâneos como ao longo do tempo. Em níveis muito menores, o ruído produz incômodo e dificulta ou impede a atenção, a comunicação, a concentração, o descanso e o sono.

De acordo com Rodrigues (2009), o incômodo

ou dano causado pelo ruído depende de suas características físicas (amplitude e frequência), do seu tempo de duração, da resposta subjetiva e suscetibilidade de cada pessoa. Dessa forma, é possível afirmar que o ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som.

3.3 Normas para análise do NPS

Para analisar os efeitos do ruído gerado pela Trensurb sobre os passageiros e a padronização das medições, foram utilizadas normas nacionais e internacionais, tais como ISO (International Organization for Standardization) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Para padronizar a forma de medição e a instrumentação necessária, utilizou-se a norma internacional ISO 3381:2005 – “*Railway application-Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles*” (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005) e a norma NBR 13067 – “Carro metropolitano - Determinação dos níveis de ruído” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a). As duas normas citam uma série de especificações para a realização da medição dos níveis de pressão sonora dentro de veículos que se movimentam sobre trilhos, como: o posicionamento dos microfones em relação ao vagão, altura dos microfones em relação aos passageiros, condições de teste, condições do veículo, entre outras condições que devem ser respeitadas para validar a medição.

Os níveis de ruído interno em carros metropolitanos foram determinados pela norma NBR 13068 – “Ruídos internos e externos em carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT)” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b). Nos itens 5.1.1 e 5.1.2, dessa da norma são estipulados os níveis máximos de exposição a que os passageiros e operadores do trem podem ser submetidos.

De acordo com Lage (2003), as ferrovias europeias criaram uma norma internacional para trens de média velocidade que, quanto ao conforto acústico, estabelece limites de ruído interno de 65 dB(A). Por falta de bibliografias e/ou normas nacionais, adotou-se esse valor para delimitar a zona de conforto acústico de seus passageiros no presente trabalho.

4 Materiais e métodos

4.1 Metodologia e equipamentos

Neste artigo, comparam-se os dados obtidos, através de medições de campo realizadas na Trensurb com as normas reguladoras, em consonância com as

normas que regem a instrumentação e coleta desses dados. Durante o trabalho, foram coletados os valores de nível de pressão sonora no filtro de compensação A.

A medição dos NPS foi realizada, principalmente, através da norma ISO 3381:2005 – “*Railway application- Acoustics – Measurement of noise inside railbound vehicles*” (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), tendo em vista que essa é mais completa que a norma NBR 13067 – “Carro metropolitano - Determinação dos níveis de ruído” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a) . Em virtude de o veículo utilizado estar em contínuo funcionamento, causando limitações operacionais, os requisitos de medição foram adaptados de forma a viabilizar a obtenção dos dados. Assim, foram suprimidos os microfones, cabos e dispositivos de gravação, citados na Norma e substituídos por dois sonômetros posicionados nas extremidades de um vagão, conforme a norma NBR 13067 – “Carro metropolitano - Determinação dos níveis de ruído” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a). Outro ponto adaptado, em relação à norma ISO, foi a altura dos equipamentos, em razão da disponibilidade de apenas dois instrumentos. Uma vez que não pôde ser avaliado o ruído em diferentes posições, optou-se por realizar a medição na altura de 1,60m, de modo a abranger o maior público. A programação dos equipamentos seguiu a instrução da mesma norma. A interpretação das informações foi realizada, segundo a norma NBR 13067 - “Carro Metropolitano - Determinação dos níveis de ruído” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a) e a norma NBR 13068 - “Ruídos internos e externos em carro metropolitano e Veículo Leve sobre Trilhos (VLT)” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b).

A etapa da coleta de dados se deu desde a estação Mercado, em Porto Alegre, até a última estação

da cidade de Novo Hamburgo. O “carro” utilizado como amostra da análise de conforto acústico foi o primeiro da composição, durante todo o tempo que durou a viagem de “ida”. O mesmo vagão foi utilizado na “volta”, dessa vez, como último carro da composição, totalizando duas viagens completas. Escolheu-se esse vagão, pois, na viagem de “ida”, possui um dos truques de tração da composição, sendo assim, um dos vagões que possui maior nível de pressão sonora.

Os dispositivos utilizados para realização das medidas foram dois sonômetros da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250, de classe 1, mostrados na figura 1, dois tripés e uma planilha de anotações.

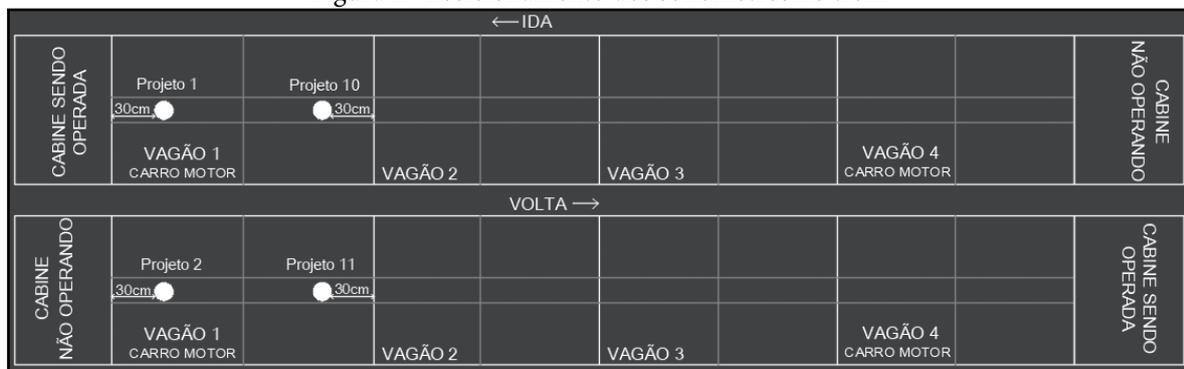
Figura 1 – Sonômetro utilizado nas medições de campo



Fonte: Os autores (2016).

Os sonômetros foram fixados nos tripés e posicionados na linha central, em relação ao eixo longitudinal do vagão, a uma distância aproximada de 30 cm das paredes que formam as extremidades dos vagões. A figura 2 ilustra um esquema de como foram posicionados os sonômetros no trem.

Figura 2 – Posicionamento dos sonômetros no trem



Fonte: Os autores (2016).

A norma ISO 3381” (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), indica que a altura dos sonômetros que captam o ruído percebido pelos passageiros que estão em pé deve ser de 1,60m em relação ao piso. Portanto, ambos os sonômetros, utilizados

no trabalho, foram mantidos nessa altura, durante toda a etapa experimental, uma vez que o número de passageiros em pé é muito superior aos passageiros sentados, abrangendo a percepção da maioria dos usuários do trem, como indica a figura 3.

Figura 3 – Sonômetros fixados em tripés, a 1,6m do piso, na linha central ao eixo longitudinal



Fonte: Os autores (2016).

Os sonômetros foram programados para captar os níveis de pressão sonora ponderados em (A), obtidos de um em um segundo, num espectro de frequência variado de 16 Hz a 16 kHz, no circuito de resposta lenta (*slow*), em campo fechado.

O *software* empregado na leitura dos dados captados pelos sonômetros foi o BZ5503 - *Measurement Partner Suite*, desenvolvido pela empresa Bruel and Kjaer (2016).

O vagão utilizado no trajeto de ida (Mercado Público/Novo Hamburgo) foi o primeiro vagão da composição, ou seja, o mais próximo da cabine do operador. Esse vagão é chamado de carro motor e tem uma característica diferente dos carros reboques: ele não tem porta de conexão na parede de uma de suas extremidades, a parede que faz divisa com a cabine, ou seja, apenas a parede oposta a da cabine do condutor tem porta, que dá acesso à articulação, em que se encontra o eixo que interliga os outros carros, conforme indicado na figura 4.

O parâmetro que foi retirado dos sonômetros e utilizado na avaliação de conforto acústico foi o nível sonoro equivalente de ruído contínuo, ponderado em (A), convencionalmente chamado de LAeq, pois esse, de acordo com a norma ISO 1996-1:2003 – “*Acoustics - Description and measurement of environmental noise - Part 1: Basic*

quantities and procedures” (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2003), representa o nível de um som estacionário que, para um determinado intervalo de tempo, tem a mesma energia sonora do ruído em questão, cujo nível varia temporalmente. Para o estudo de avaliação de exposição ao ruído ocupacional, o LAeq é comumente utilizado, além de ser usado, também, como referência para verificação de ruído ambiental.

Figura 4 – Carro motor da composição, sem porta de conexão com a cabine



Fonte: Os autores (2016).

Gerges (2000) diz que o LAeq representa o potencial de lesão auditiva do nível oscilante, que, além de depender de seu nível, depende também de sua duração. O LAeq permite que seja avaliado o nível de ruído contínuo equivalente a que os passageiros da Trensurb estão submetidos, uma vez que esses estão expostos a vários tipos de ruídos, originalmente variáveis.

A norma NBR 13068 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b), indica que, quanto ao ruído no interior do salão de passageiros, para carros metropolitanos, o nível de pressão sonora ponderada deve ser de, no máximo, 80 dB(A).

4.2 Modelo de trem analisado

A Trensurb conta com uma frota de trens composta por um modelo antigo e um modelo novo. Após reunião com os engenheiros da empresa, foi constatado que o modelo antigo emite mais ruído que o modelo novo, portanto, optou-se por utilizar o modelo antigo, por ser o pior caso, referente à emissão de ruído.

As medições foram realizadas em condições normais de operação do trem, ou seja, com a presença

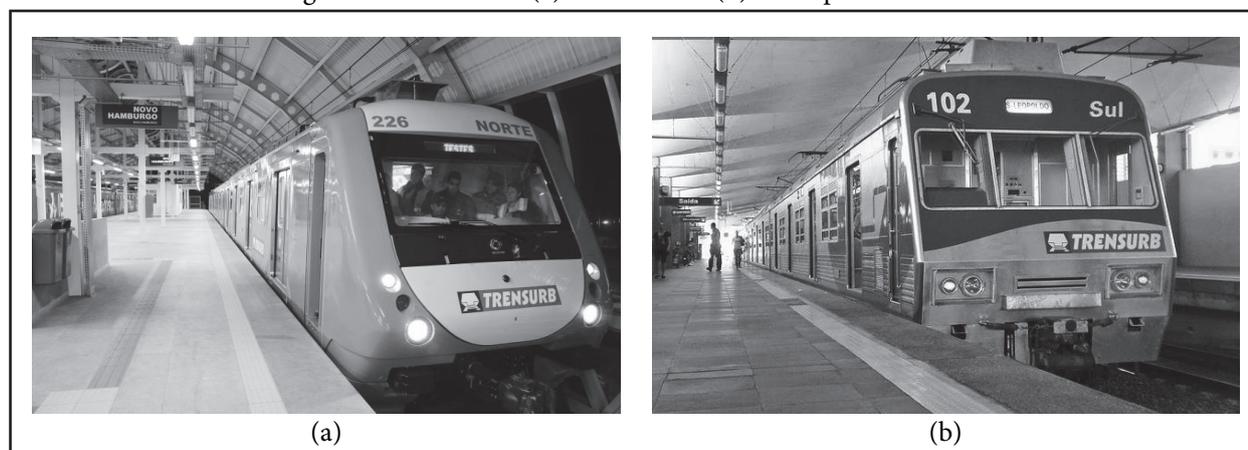
de aproximadamente 65 passageiros por trajeto, a uma velocidade normal média de 70 km/h, ao longo de todo o percurso.

Atualmente, a Trensurb opera uma linha de trens urbanos com extensão de 43,8 quilômetros, no eixo norte da Região Metropolitana de Porto Alegre, com vinte e duas (22) estações e uma frota de vinte e cinco (25) trens, composta pelo modelo antigo, os chamados Série 100 e outra frota de quinze (15) trens novos, denominados de Série 200, atendendo a seis municípios: Porto Alegre, Canoas, Esteio, Sapucaia do Sul, São Leopoldo e Novo Hamburgo.

Os trens série 100 da Linha 1 foram fornecidos por consórcio japonês liderado pela Mitsui & Co., tendo sido fabricados pelas empresas Nippon Shario Seizo Kaisha Ltd., Hitachi Ltd. e Kawasaki Heavy Industries Ltd. Cada trem tem a denominação de Trem Unidade Elétrico (TUE), constituído de quatro carros, sendo dois carros motores MA e MB, nas pontas e dois carros reboques RA e RB, no meio. A composição básica é constituída de MA-RA-RB-MB, podendo ser operado em unidade simples, como também em até três unidades acopladas (12 carros).

Já os quinze (15) TUEs série 200 foram fornecidos pelo consórcio FrotaPoa, formado por Alstom e CAF. Na figura 5, são mostrados os dois modelos de trem.

Figura 5 – Trem novo (a) e trem velho (b) da empresa Trensurb



Fonte: Os autores (2016).

5 Resultados

Inicialmente, no item 5.1, foram verificados, através de gráficos e tabelas, os valores de NPS acima do permitido pela norma, as frequências de ocorrência dos valores de pico, os instantes, horários e estações em que eles ocorreram.

Após essa análise, no item 5.2, foram realizados cálculos de nível de exposição normalizada, para verificar se os passageiros estariam expostos a níveis

admissíveis caso as viagens correspondessem a uma jornada de trabalho de oito (8) horas.

5.1 Resultados para NPS dos passageiros

Como foram utilizados dois sonômetros em duas situações diferentes, ida e volta, porém no mesmo carro motor, quatro (4) projetos foram obtidos e avaliados: dois projetos na ida e dois projetos na volta. Portanto, algumas convenções, para

facilitar o entendimento dos resultados, foram adotadas: chamou-se de Projeto 01 o sonômetro mais próximo à cabine na ida, de Projeto 10, o sonômetro mais afastado da cabine, também na ida, de Projeto 02 o sonômetro mais perto da cabine na volta, e de Projeto 11 o sonômetro mais afastado da cabine na volta.

5.1.1 Projetos de ida

A tabela 1, a seguir, foi construída da seguinte forma: sobre todos os valores de LAeq, tomados de um em um segundo, obtidos para cada projeto,

foi feita uma análise de porcentagem de ocorrência para valores abaixo ou igual a 65 dB(A) (região de conforto), abaixo ou igual a 80 dB(A) (região de segurança a saúde), entre 80 dB(A) e 85 dB(A) e acima de 85 dB(A).

Após a análise dos sonômetros, verificou-se que o nível de pressão sonora equivalente, ponderado em (A), LAeq, em vários pontos do trajeto da Trensurb, na ida, ficaram acima do valor permissível pela norma NBR13068 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b), de 80dB(A), para ambas as extremidades do vagão.

Tabela 1- Faixa de valores de LAeq para os projetos de ida

Projeto 01			Projeto 10		
Faixas de ruído	Ocorrência	Porcentagem	Faixas de ruído	Ocorrência	Porcentagem
LAeq ≤ 65,00	0	0,00%	LAeq ≤ 65,00	0	0,00%
LAeq ≤ 80,00	934	30,05%	LAeq ≤ 80,00	988	32,40%
80,00 < LAeq ≤ 85,00	1333	42,89%	80,00 < LAeq ≤ 85,00	1072	35,16%
LAeq >85,00	841	27,06%	LAeq >85,00	989	32,44%
TOTAL	3108	100,00%	TOTAL	3049	100,00%
LAeq > 80,00	2174	69,95%	LAeq > 80,00	2061	67,60%

Fonte: Os autores (2016).

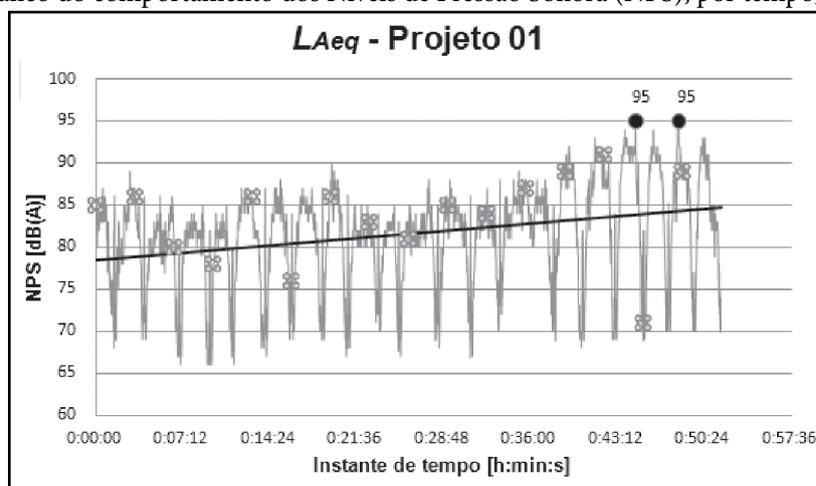
Conforme a tabela 1, pôde-se verificar que, dos dados totais obtidos, 69,95% das ocorrências, para o sonômetro mais próximo da cabine, ficaram em níveis inaceitáveis, podendo gerar danos à saúde dos passageiros. Já para o sonômetro mais afastado da cabine, 67,60% dos dados ficaram nessa mesma condição.

Quanto ao valor limite para o conforto acústico, pôde-se perceber que em nenhum momento os passageiros estiveram expostos a níveis aceitáveis,

podendo-se concluir que 100% do tempo de viagem é desconfortável acusticamente para os usuários do trem.

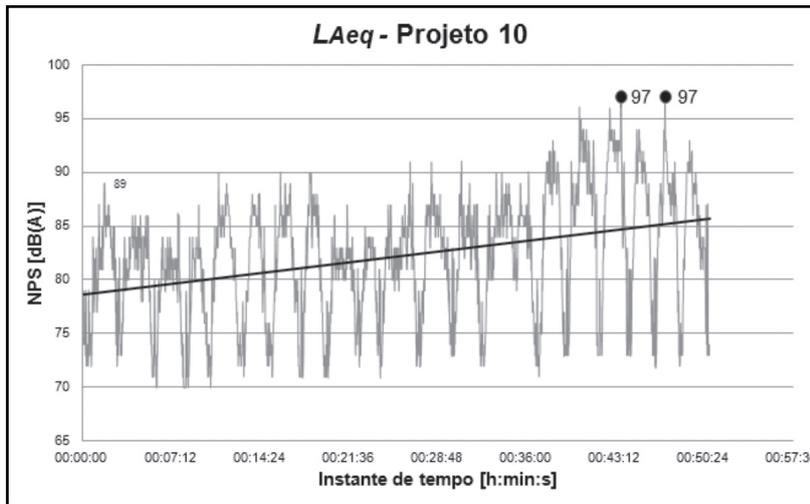
A partir da linha de tendência, criada nos gráficos da figura 6 e da figura 7, percebe-se que os níveis de pressão sonora aumentam de acordo com o avanço da trajetória e tem seus picos atingidos em dois momentos diferente e nos mesmos instantes de tempo.

Figura 6 – Gráfico do comportamento dos Níveis de Pressão Sonora (NPS), por tempo, para o Projeto 01



Fonte: Os autores (2016).

Figura 7 – Gráfico do comportamento dos Níveis de Pressão Sonora (NPS), por tempo, para o Projeto 10



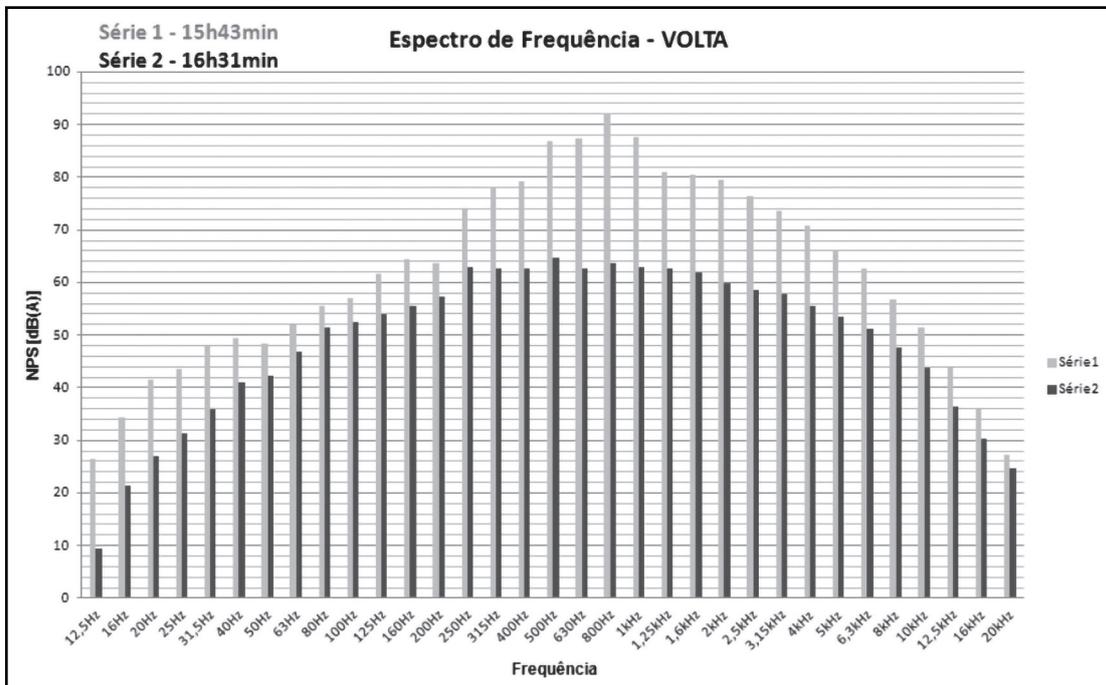
Fonte: Os autores (2016).

Esses dois instantes de tempo correspondem a dois horários diferentes: 15h 22min e 15h 24min, respectivamente. Eles ocorreram nas estações Rio dos Sinos e Santo Afonso, respectivamente, no momento em que houve uma frenagem.

A figura 8, a seguir, mostra a avaliação dos NPS, com relação ao espectro de frequência, para

dois horários distintos: Série 1 às 15h24min e Série 2 às 14h38min. A partir da medição realizada em campo, pode-se verificar que a Série 2, em tom mais escuro, toma um horário correspondente à estação Mercado Público e a Série 1 toma um horário correspondente à estação Santo Afonso, no percurso de ida.

Figura 8 – Espectro de frequência para o percurso de ida



Fonte: Os autores (2016).

Esse espectro indica que há uma elevação considerável dos valores de NPS para cada banda de frequência na Série 1, o que reforça a ideia de que a

alteração das condições e/ou material da via, pode ter influência na emissão de ruído.

Por fim, verificou-se que o sonômetro mais

próximo à cabine teve um valor de pico mais elevado que o sonômetro que foi posicionado na outra extremidade, indicando que esse lado do vagão é levemente mais crítico para os passageiros.

5.1.2 Projetos de volta

A tabela 2 foi realizada de forma análoga à tabela 1. Os projetos obtidos nas medições realizadas na viagem de volta resultaram no mesmo comportamento que na viagem de ida, tendo em vista que

o percurso de volta é exatamente o mesmo que o de ida, mudando, apenas o sentido. Os valores dos picos do nível de pressão sonora foram da mesma ordem de grandeza e nos mesmos trechos. Também se pode observar que nenhum dos valores do nível de pressão sonora foi igual ou abaixo do limite para o conforto acústico, assim como a elevada porcentagem de ocorrências acima de 80 dB(A).

A tabela 2 indica que as ocorrências acima do permitido ficaram em torno dos 68% para ambos os sonômetros.

Tabela 2 - Faixa de valores de LAeq para os projetos de volta

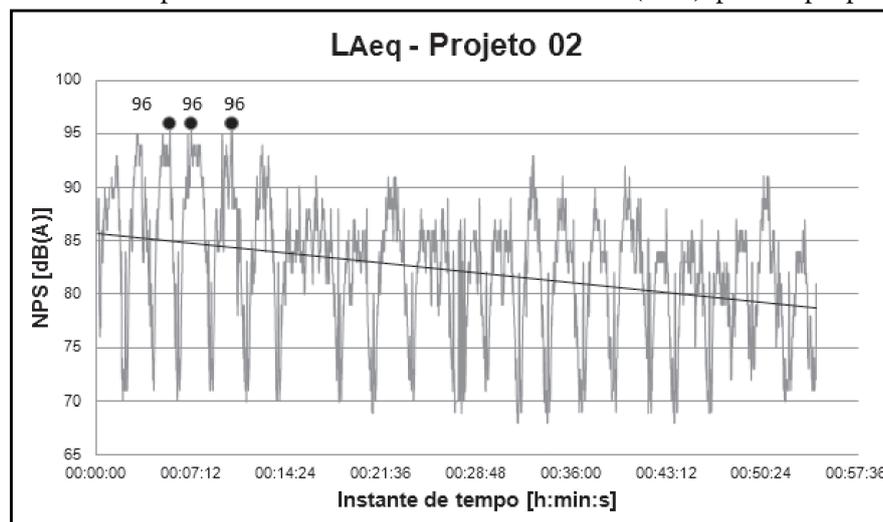
Projeto 02			Projeto 11		
Faixas de ruído	Ocorrência	Porcentagem	Faixas de ruído	Ocorrência	Porcentagem
LAeq ≤ 65,00	0	0,00%	LAeq ≤ 65,00	0	0,00%
LAeq ≤ 80,00	1027	31,47%	LAeq ≤ 80,00	1014	31,16%
80,00 < LAeq ≤ 85,00	1125	34,48%	80,00 < LAeq ≤ 85,00	1102	33,87%
LAeq >85,00	1111	34,05%	LAeq >85,00	1138	34,97%
TOTAL	3263	100,00%	TOTAL	3254	100,00%
LAeq >80,00	2236	68,53%	LAeq > 80,00	2240	68,84%

Fonte: Os autores (2016).

Nas figuras 9 e 10, que ilustram os gráficos dos projetos de volta, pode-se perceber que os máximos

valores de NPS ocorrem nos mesmos instantes de tempo, correspondendo aos mesmos horários.

Figura 9 – Gráfico do comportamento dos Níveis de Pressão Sonora (NPS), por tempo, para o Projeto 02



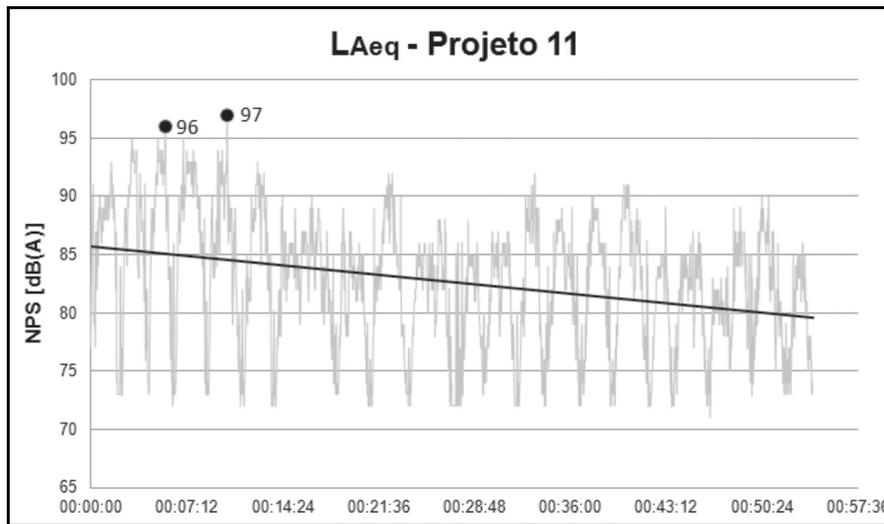
Fonte: Os autores (2016).

Os valores de pico ocorreram nos mesmos instantes de tempo e correspondem aos horários 15h43min e 15h47min.

Em conformidade com os projetos de ida, o sonômetro instalado na parede, que faz divisa com a

cabine, teve seu valor de pico levemente maior que o outro sonômetro. Portanto, notou-se que, indiferentemente do sentido em que o trem está se locomovendo, o lado mais crítico, em relação ao ruído é o do lado da cabine.

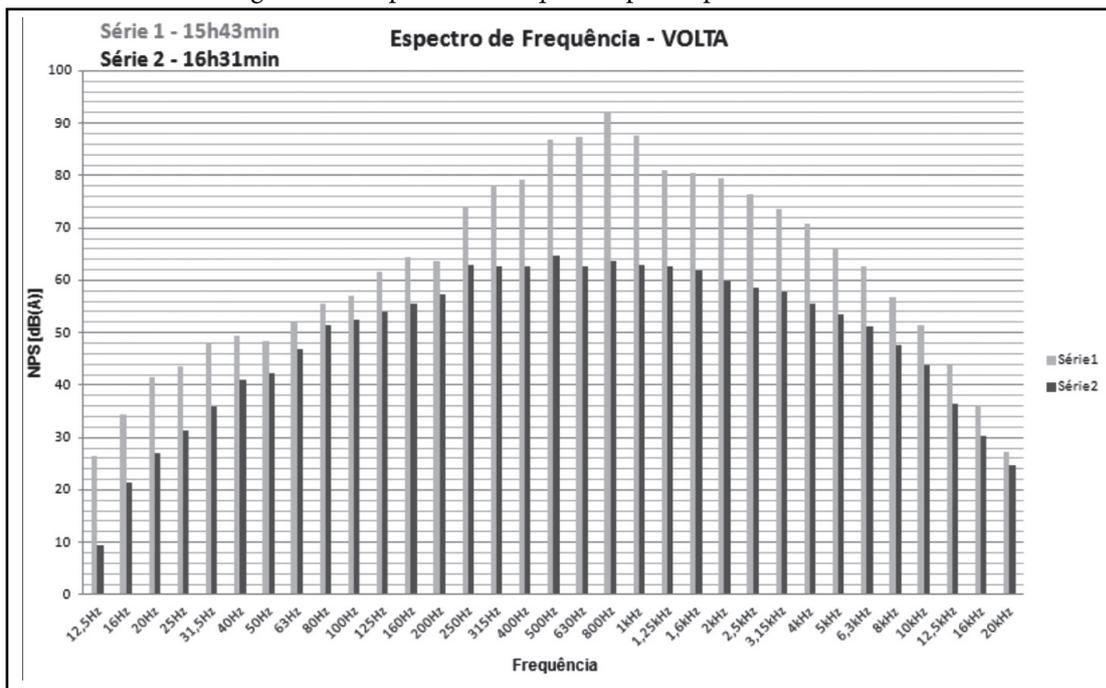
Figura 10 – Gráfico do comportamento dos Níveis de Pressão Sonora (NPS), por tempo, para o Projeto 11



Fonte: O autor (2016).

A figura 11 indica o espectro de frequência para correspondem às estações Santo Afonso e Mercado o percurso de volta. A Série 1 e Série 2, deste gráfico, Público, respectivamente.

Figura 11 – Espectro de frequência para o percurso de volta



Fonte: Os autores (2016).

Assim como na ida, é possível perceber que os valores de NPS são maiores, para a mesma banda de frequência na estação Santo Afonso.

Por fim, analisando os horários, em que se verificaram os picos na volta, foi possível observar que esses aconteceram nas mesmas estações, em que ocorreram os picos na ida.

5.2 Cálculo de nível de exposição normalizada

As normas NR 15 (GUIA TRABALHISTA, 2014) e NHO 01 (FUNDACENTRO, 2001) consideram apenas valores de nível de pressão sonora, a partir de 80 dB(A), para o cálculo do nível de exposição. No entanto, devido ao valor de incremento

de dose ser menor na NHO 01 do que na NR 15, essa se mostra mais conservadora, no sentido de preservar mais o trabalhador, fornecendo um valor de dose diária mais alta para uma mesma jornada de trabalho.

Portanto, após a análise temporal de exposição

dos valores pertinentes que se enquadram nas características da norma, adotou-se a dose de exposição diária da NHO 01 para a realização dos cálculos de NE e NEN, conforme equações (2) e (1), respectivamente. A tabela 3 mostra o resultado da análise para os quatro projetos.

Tabela 3 – Nível de exposição normalizada para os quatro projetos

Projeto	Dose diária - D [%]	Nível de exposição - NE [dB]	Nível de exposição normalizada para 8h de trabalho - NEN [dB]
Projeto 01	10,0	84,6	75,0
Projeto 02	12,9	85,8	76,1
Projeto 10	11,4	85,2	75,6
Projeto 11	13,0	85,8	76,1

Fonte: O autor (2016).

Pode-se perceber pela tabela 3, que se os passageiros da Trensurb ficassem expostos, durante 8h contínuas, aos níveis de pressão sonora contínua intermitente, resultantes do cálculo de NEN. Eles estariam seguros, sem o risco de insalubridade, uma vez que os valores calculados ficaram dentro da faixa permissível indicada pelas normas competentes.

6 Conclusão

De acordo com as tabelas e gráficos gerados nos projetos, com relação à análise de conforto, em comparação com a norma europeia citada por Lage (2003), verificou-se que em nenhum momento, tanto para o percurso de ida quanto percurso de volta, a emissão de ruído ficou igual ou abaixo do nível de 65 dB(A).

Após comparação dos valores obtidos em campo, com os permissíveis pela NBR 13068, pode-se perceber que, em mais da metade do tempo de viagem, ocorreu emissão de ruído superior ao permitido, de 80 dB(A) (aproximadamente 68%).

De acordo com Paiva e Bertoli (1996), após estudo preliminar, verificou-se que quanto piores as condições da via permanente, maior é o ruído gerado. Portanto, este estudo preliminar permite inferir que, um dos motivos para o aumento dos valores de NPS, durante percurso de ida, sentido Mercado Público/Novo Hamburgo, seja devido à piora e/ou alteração das condições da via utilizada pela Trensurb.

Entretanto, depois de realizado o estudo de nível de exposição normalizada, para uma jornada de trabalho de 8 horas, ficou constatado que os passageiros estiveram expostos a um nível de pressão

sonora inferior a 85 dB(A), conforme regem as normas competentes. Isso indica que, apesar dos valores instantâneos de NPS atingirem níveis acima do permissível, os passageiros não estariam submetidos a uma atividade insalubre.

Referências

ALMEIDA, S. I. C. *et al.* História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, v. 46, n. 2, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13067**: carro metropolitano: determinação dos níveis de ruído. Rio de Janeiro: ABNT, 1997a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13068**: ruídos internos e externos em carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT). Rio de Janeiro: ABNT, 1997b.

ASSOCIAÇÃO DOS MORADORES DO DISTRITO DE ÈVORA. **Èvora – Portugal**. 2003. Disponível em: <http://www.amde.pt>. Acesso em: 30 out. 2016.

BISTAFA, S. R. B. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BRÜEL & KJAER. **BZ5503 - Measurement Partner Suite**: introduction to the *Measurement Partner Suite*. 2016. Disponível em: <https://www.bksv.com/downloads/2250/mpsbz5503.pdf>. Acesso em: 30 out. 2016.

FEDOZZI, L. J.; SOARES, P. R. R. **Porto Alegre**:

- transformações na ordem urbana. Rio de Janeiro: Letra Capital: Observatório das Metrópoles, 2015.
- FERNANDES, J. C. **Higiene do trabalho**: acústica e ruídos. Bauru: Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista, 2002.
- FUNDACENTRO. **Normas de Higiene Ocupacional - NHO-01**: procedimento técnico: avaliação da exposição ocupacional ao ruído. São Paulo, 2001.
- GERGES, S. N. Y. **Ruído**: fundamentos e controle. 2. ed. Florianópolis: NR, 2000. 696 p.
- GUIA TRABALHISTA. **NR 15**: atividades e operações insalubres. 2014. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.html>. Acesso em: 2 out. 2016.
- IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-1:2003**: acoustics: description and measurement of environmental noise: part 1: basic quantities and procedures. Geneva, 2003.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3381:2005(E)**: railway applications: acoustics: measurement of noise inside railbound vehicles. Geneva, 2005.
- LAGE, J. T. **Níveis de ruído no interior de trens metropolitanos**: caso São Paulo. 2003. Disponível em: www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=vtls000305143. Acesso em: 15 nov. 2016.
- MENDES, M. H.; CATAI, R. E.; ALBERTI, M. E. **Avaliação dos níveis de pressão sonora aos quais músicos de uma banda estão expostos**. 2009. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/download/270/345>. Acesso em: 22 nov. 2016.
- PAIVA, C. E. L.; BERTOLI, S. R. Ruídos provocados por sistemas ferroviários: levantamento inicial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SISTEMAS DE CONTROLE E CARGAS FERROVIÁRIAS, 1996, Florianópolis. **Anais** [...] São Paulo: ABNT, 1996.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Capital tem menor tempo de deslocamento para chegar ao trabalho**. 2016. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/portal_pmpa_novo/default.php?p_noticia=190477&CAPITAL+TEM+MENOR+TEMPO+DE+DESLOCAMENTO+PARA+CHEGAR+AO+TRABALHO. Acesso em: 30 nov. 2016.
- RODRIGUES, M. N. **Metodologia para definição de estratégia de controle e avaliação de ruído ocupacional**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/PASA875MWR/224.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 out. 2016.
- RUIZ, C. A. *et al.* **Manual de consenso**: o estudo do ruído. 2000. Disponível em: <https://www.higieneocupacional.com.br/download/ruido-conrado.doc>. Acesso em: 22 out. 2016.