

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM ESTAÇÕES DA TRENSURB
DURANTE A CHEGADA E PARTIDA DOS TRENS

por

Günther Scherer Ott

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2018.

DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EM ESTAÇÕES DA TRENSURB
DURANTE A CHEGADA E PARTIDA DOS TRENS

por

Günther Scherer Ott

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof^a. Thamy Cristina Hayashi
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Edson Hikaro Aseka

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof^a. Dr^a. Leticia Fleck Fadel Miguel

Porto Alegre, 25 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

A meus pais, pela oportunidade de estudar.

À minha avó, pelos sábios conselhos.

À minha namorada, pelo companheirismo.

A meus amigos, pelos momentos de descontração.

Ao Professor Juan Pablo, por todo auxílio e orientação ao longo do trabalho.

À equipe da Trensurb, em especial ao senhor Marco Aurélio Maia, por compartilhar seus conhecimentos sobre o tema.

OTT, G. S. **Determinação dos níveis de pressão sonora em estações da Trensurb durante a chegada e partida dos trens.** 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

Um estudo dos níveis de pressão sonora em estações da empresa Trensurb mostra-se interessante, uma vez que os transportes terrestres contribuem em larga escala à poluição sonora em grandes cidades. Além disso, muitas pessoas utilizam os trens como meio de locomoção pela região metropolitana de Porto Alegre, expondo-se à realidade acústica das estações. Duas estações, uma isolada do ambiente externo e outra aberta a este, são medidas durante a chegada e partida dos trens, a fim de se determinar os níveis sonoros equivalentes na escala A (L_{Aeq}). Também são registrados os valores de ruído de fundo ambiente. Como parâmetro de referência, utiliza-se o limite disposto na norma ABNT NBR 13068/1997: 85 dB(A). Para as medições, empregam-se dois decibelímetros *Brüel & Kjaer*, modelos *Type 2250*, um na extremidade de início da plataforma, e o outro ao final desta. Analisam-se oito trens em cada estação. Como resultados, a estação Santo Afonso, isolada do ambiente externo, apresenta ruído de fundo da ordem de 61,9 dB(A), e valores de 85,5 dB(A) e 84,9 dB(A) durante a chegada e partida, respectivamente. A estação Fátima, aberta ao ambiente externo, apresenta valor médio de ruído de fundo de 80,0 dB(A), de 81,4 dB(A) para a chegada e de 81,1 dB(A) para a partida. Por fim, elaboram-se gráficos de L_{Aeq} por espectro de frequências do ruído de fundo e dos fenômenos de chegada e partida na estação Santo Afonso, com o intuito de se identificar as faixas de frequência significativas e se sugerir uma melhoria com absorvedores de ruído, *baffles*, para um trabalho futuro.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído, Estação de Trem, Nível de Pressão Sonora, NBR 13068/1997.

OTT, G. S. **Determination of sound pressure levels at Trensurb stations during arrival and departure of trains**. 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

A study of sound pressure levels at Trensurb stations prove to be interesting, since land transport contributes to large-scale noise pollution in big cities. Besides that, many people use trains to move through metropolitan region of Porto Alegre, exposing themselves to the acoustic reality of the stations. Two stations, one isolated from the external environment and the other opened to it, are tested during the arrival and departure of trains, in order to determine the equivalent sound levels on the A scale (L_{Aeq}). The ambient background noise values are also registered. As a reference parameter, the limit established in standard ABNT NBR 13068/1997 is used: 85 dB (A). For the measurements, two Brüel & Kjaer, Type 2250 decibelimeters are used, one at the beginning of the platform, and the other at the end of it. Eight trains are analyzed in each station. As results, Santo Afonso station, isolated from the external environment, presents background noise of the order of 61.9 dB (A), and values of 85.5 dB (A) and 84.9 dB (A) during arrival and departure, respectively. Fatima station, opened to the external environment, has an average background noise level of 80.0 dB (A), 81.4 dB (A) for arrival and 81.1 dB (A) for departure. Finally, L_{Aeq} graphs versus frequency spectrum of background noise and of arrival and departure phenomena in Santo Afonso station are plotted, with the purpose of identifying significant frequency bands and suggesting an improvement with noise absorbers, baffles, for a future study.

KEYWORDS: Noise, Train Station, Sound Pressure Level, NBR 13068/1997.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Exemplo de aplicação de <i>baffles</i>	3
Figura 3.2: Corte da seção transversal da via superficial terrestre (a) e foto dos trilhos da via superficial terrestre (b).....	4
Figura 3.3: Esquema de montagem do sistema LVT (a) e foto dos trilhos da via elevada (b).....	4
Figura 5.1: Decibelímetro montado em tripé (a) e modelo do equipamento utilizado (b).....	5
Figura 5.2: Interior da estação Santo Afonso.....	6
Figura 5.3: Vista externa da estação Santo Afonso (a) e muretas com isolamento acústico (b).	6
Figura 5.4: Estação Fátima.	6
Figura 5.5: Esquema da plataforma da estação Fátima.....	7
Figura 5.6: Esquema das plataformas da estação Santo Afonso.....	7
Figura 6.1: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 104 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem001.....	10
Figura 6.2: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 104 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem001.....	10
Figura 6.3: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 105 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem002.....	12
Figura 6.4: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 105 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem002.....	12
Figura 6.5: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 108 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem003.....	13
Figura 6.6: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 108 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem003.....	13
Figura 6.7: Espectro de frequências para partida (a) e chegada (b) do Trem Velho 104 na estação Santo Afonso.....	14
Figura A.1: Esquema da linha da Trensurb.	16
Figura A.2: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 234 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem001.....	17
Figura A.3: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 234 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem001.....	17
Figura A.4: Espectro de frequências para partida (a) e chegada (b) do Trem Novo 234 na estação Santo Afonso.....	18
Figura A.5: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 229 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem002.....	18
Figura A.6: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 229 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem002.....	19

Figura A.7: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 119 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem003.	19
Figura A.8: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 119 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem003.	20
Figura A.9: Trens Novo (a) e Velho (b) da Trensurb.	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem001 [dB(A)].....	9
Tabela 6.2: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem002 [dB(A)].....	11
Tabela 6.3: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem003 [dB(A)].....	11
Tabela A.1: Parâmetros de calibração.....	16

ÍNDICE	página
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	1
2 OBJETIVO	1
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
3.1 Nível de Pressão Sonora (NPS)	1
3.2 Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq})	2
3.3 Ruído	2
3.4 <i>Baffles</i>	2
3.5 Normas para análise de ruído	3
3.6 Características gerais das estações da linha	3
3.7 Trilhos	3
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
5 MATERIAIS E MÉTODOS	5
5.1 Equipamentos	5
5.2 Estações analisadas	5
5.3 Metodologia	7
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	8
6.1 Estação Santo Afonso	8
6.2 Estação Fátima	10
6.3 Espectro sonoro de frequências	13
7 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
ANEXOS	16
APÊNDICES	17

1 INTRODUÇÃO

Os transportes terrestres evoluíram com o passar do tempo. Por séculos empregaram-se veículos com tração animal, até o surgimento das locomotivas a vapor, em meados do século XIX, durante a Revolução Industrial. Com a nova tecnologia, as perspectivas de distância diminuíram. Devido ao aumento da velocidade, passou a ser possível percorrer quilômetros em poucas horas, ao invés de dias. Essas mudanças, apesar de serem essenciais ao desenvolvimento da humanidade, trouxeram consigo um malefício: o ruído.

Atualmente as pessoas se expõem a altos níveis de pressão sonora. Os compromissos do dia-a-dia nas grandes metrópoles exigem dos meios de transporte velocidade e um grande número de veículos para atender a toda a população. Esses dois fatores estão diretamente relacionados à poluição sonora. Segundo Paozalyte et alli, 2011, tanto mais o transporte ferroviário gerará ruído quanto maior for a velocidade do trem e fatores como tipo de veículo, tipo de trilho e regime de movimento (velocidade constante, movimento acelerado ou retardado) forem modificados. Quanto ao segundo fator, a geração de ruído aumenta com o aumento do número de fontes.

Uma vez que a tendência para os próximos anos é de que a população e seus compromissos diários continuem aumentando, cabe aos profissionais de Engenharia estudar os fenômenos geradores de ruído e pesquisar soluções viáveis. Este estudo aplica essa ideia no contexto dos trens elétricos da empresa Trensurb, em Porto Alegre e região metropolitana.

1.1 Justificativa

Não se pode ignorar que a mobilidade dos trens é de grande importância para a população. A via de 43 km da Trensurb interliga 22 estações distribuídas por 6 cidades. Segundo dados da empresa, 185.015 usuários foram transportados por dia útil em média no ano de 2017, sendo registrados 8.403.243 embarques na estação Mercado ao longo do período.

Devido ao fato dos trens serem considerados fontes de ruído e à evidência de que muitas pessoas utilizam os serviços da Trensurb, expondo-se à realidade acústica das estações, mostra-se necessário o mapeamento dos níveis de pressão sonora nesses ambientes. Assim, as respectivas providências poderão ser tomadas, caso os usuários se encontrem em situação desconfortável. O presente estudo também poderá servir de justificativa para o desenvolvimento de melhorias acústicas no setor e complementar os trabalhos de Strauch, 2016, e de Testa, 2017, que versam respectivamente sobre avaliação do conforto acústico dos passageiros dos trens antigos e novos da Trensurb.

2 OBJETIVO

A proposta do trabalho é medir o nível de pressão sonora em diferentes estações da empresa Trensurb, em Porto Alegre e região metropolitana, durante a chegada e partida dos trens. O nível sonoro equivalente será comparado com o limite máximo estabelecido pela norma NBR 13068/1997, que regulamenta a operação, a fim de verificar se os usuários se sujeitam a uma condição de desconforto. Além disso, serão estimados os espectros de frequência do som gerado pelos trens, a fim de se sugerir um tratamento acústico adequado às estações, como proposta a um trabalho futuro, caso seja necessário.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Nível de Pressão Sonora (NPS)

A lei de Fechner-Weber determina que a relação entre estímulo físico e sensação humana é logarítmica, representada pela equação:

$$S = k \log \frac{E}{E_0}$$

onde S é a sensação, k é uma constante determinada experimentalmente, E é o estímulo e E_0 é o valor mínimo de estímulo, abaixo do qual não há sensação. A regra vale para sensações de som e outras, como luminosidade e peso [Bistafa, 2011].

Levando em consideração que o estímulo é simplesmente a pressão causada pela onda sonora, chega-se a uma expressão para as sensações sonoras, descrita pela seguinte equação:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \text{ ou } NPS = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

onde NPS é o nível de pressão sonora, P é a variação do valor instantâneo da pressão sonora, em N/m^2 , e P_0 é a pressão de referência que corresponde ao limiar de audibilidade ($2 \times 10^{-5} N/m^2$). A unidade do NPS é o decibel [dB] [Saliba, 2016].

3.2 Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq})

O manual do decibelímetro utilizado neste estudo, produzido pela empresa *Brüel & Kjaer*, define nível sonoro contínuo equivalente (L_{eq}) como o nível que representaria a quantidade de energia presente no nível sonoro flutuante medido, se a estabilidade durante o período de medição tivesse sido mantida. L_{eq} é, portanto, uma medida da energia média num nível sonoro variável, ou seja, se L_{eq} ocorresse durante o intervalo de registro, geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos registrados.

Outra definição está presente na apostila de tópicos de acústica de Miguel e Tamagna, 2007. Devido à variação muitas vezes aleatória do ruído, usa-se o nível equivalente, que representa a média da energia sonora no tempo de observação T . A expressão para o cálculo do L_{eq} é a equação:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2}{P_0^2} dt \right)$$

sendo T o tempo total de medição do som (ou tempo de integração), P a pressão sonora instantânea ponderada na escala A e P_0 a pressão de referência ($2 \times 10^{-5} N/m^2$). A unidade do L_{eq} é o decibel [dB].

Se for utilizado um filtro de ponderação-A, L_{eq} expressar-se-á como L_{Aeq} , que se define como sendo a medida do nível sonoro contínuo equivalente usando uma rede de filtros de ponderação-A, cuja unidade é o decibel na escala A [dB(A)]. Neste trabalho, foram feitas médias de L_{Aeq} dos intervalos de tempo de ruído de fundo, chegada e partida dos trens.

3.3 Ruído

Segundo Saliba, 2016, do ponto de vista físico, não há diferença entre som, ruído e barulho. Classificá-los é uma tarefa subjetiva, obtendo-se respostas diferentes de cada pessoa. Nesse contexto, ruído ou barulho pode ser definido como um som desagradável ou indesejável. Assim, por exemplo, numa boate, a música pode ser considerada som para uns e ruído para outros.

3.4 Baffles

Miguel e Tamagna, 2007, explicam que *baffles* são absorvedores de ruído pendurados no teto. Sua aplicação é indicada em geral para grandes ambientes, como fábricas e espaços esportivos. Nessa descrição se encaixam as estações de trem. Algumas de suas vantagens são facilidade na instalação e manutenção, reutilização e boa eficiência acústica. A absorção varia segundo a unidade e o espaçamento, sendo determinada experimentalmente. A Figura 3.1 ilustra um ambiente com os absorvedores instalados junto ao teto.



Figura 3.1: Exemplo de aplicação de *baffles*.

3.5 Normas para análise de ruído

A norma regulamentadora de medições em carros metropolitanos no Brasil é a ABNT NBR 13067/1997. O procedimento padrão de medição determina que os decibelímetros sejam posicionados perpendicularmente à lateral do trem, devidamente nivelados, a uma altura entre 1,2 e 1,5 m da plataforma e à distância de 3 m do centro do veículo. Algumas condições devem ser observadas e constadas no relatório. Entre elas: via em linha reta e nivelada, condições dos trilhos, ruído de fundo, representação da seção transversal da estação, ausência de chuva e ventos com velocidades inferiores a 5 m/s. Devem ser realizadas no mínimo quatro medições para cada ponto.

A ABNT NBR 13068/1997 estabelece os limites quantitativos para os processos regulamentados pela anterior. Níveis confortáveis de pressão sonora em estações de trem durante a chegada e partida dos veículos são aqueles que não ultrapassam 85 dB(A).

3.6 Características gerais das estações da linha

Na linha da Trensurb existem duas vias: V1 e V2. Sobre a V1 operam trens no sentido interior-capital, e sobre a V2, em sentido contrário. Ambas possuem dois trechos. O mais antigo compreende o trajeto da estação Mercado, em Porto Alegre, até a estação Unisinos, em São Leopoldo. O trecho mais moderno está presente no restante do percurso, até a estação Novo Hamburgo. Os trens chegam às estações com velocidade média de 50 km/h. Um esquema da linha está presente na Figura A.1, no anexo.

A arquitetura das estações varia. As antigas são abertas ao ambiente externo, enquanto as novas assemelham-se a um túnel, parcialmente isoladas do exterior. Com relação à disposição dos trilhos, a estação Mercado possui duas plataformas, entre as quais os trens trafegam. A estação Novo Hamburgo possui apenas uma plataforma, e os trens trafegam pelos seus lados. As demais estações antigas se assemelham à Novo Hamburgo, e o restante das novas segue o padrão da Mercado.

3.7 Trilhos

Segundo informações fornecidas pelo senhor Maia, técnico em segurança do trabalho na Trensurb, cada trecho possui um tipo de trilho. A via férrea superficial terrestre está localizada no trecho antigo. A Figura 3.2 ilustra o trecho em corte e exhibe uma foto dos trilhos. As sete camadas da via são:

- 1) Solo (terraplanagem);
- 2) Plataforma (região da terraplanagem com caimento de níveis definidos);
- 3) Sublastro (saibro compactado);
- 4) Lastro (brita padrão ferroviário, definido pela ABNT);
- 5) Dormentes de concreto nas vias e de madeira nos Aparelhos de Mudança de Via (AMV) e em curvas de raio menor que 200 m;
- 6) Fixações de concreto (conjunto de fixação S75L) e dormentes de madeira (placas e parafusos de tirefão);

7) Trilho do sistema metroviário TR57 (57 kg/m).

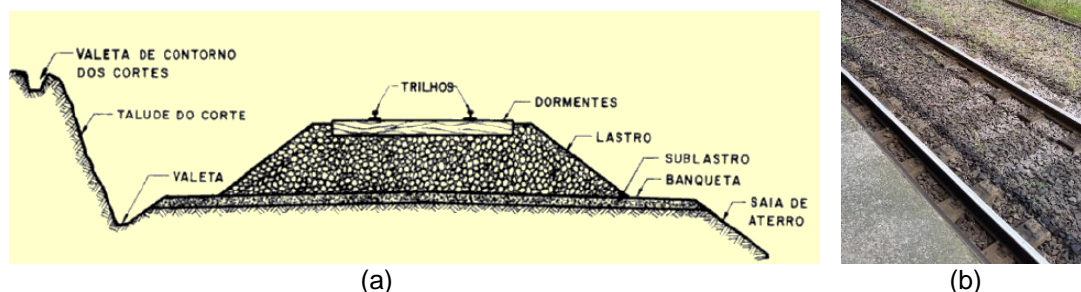


Figura 3.2: Corte da seção transversal da via superficial terrestre (a) e foto dos trilhos da via superficial terrestre (b).

O trecho novo de trilho é composto pela via férrea elevada. Sua composição é descrita a seguir, por ordem:

- 1) Laje de concreto armado (base);
- 2) Dormentes LVT (sistema *Low Vibration Track*) com galoja de borracha, palmilha e microcelular de concreto monobloco por perna de dormente;
- 3) Fixação S75 em via corrida;
- 4) AMV padrão UIV (norma europeia);
- 5) Trilho TR57.

Na Figura 3.3 podem ser vistos um esquema de montagem do sistema LVT e uma foto dos trilhos da via férrea elevada.

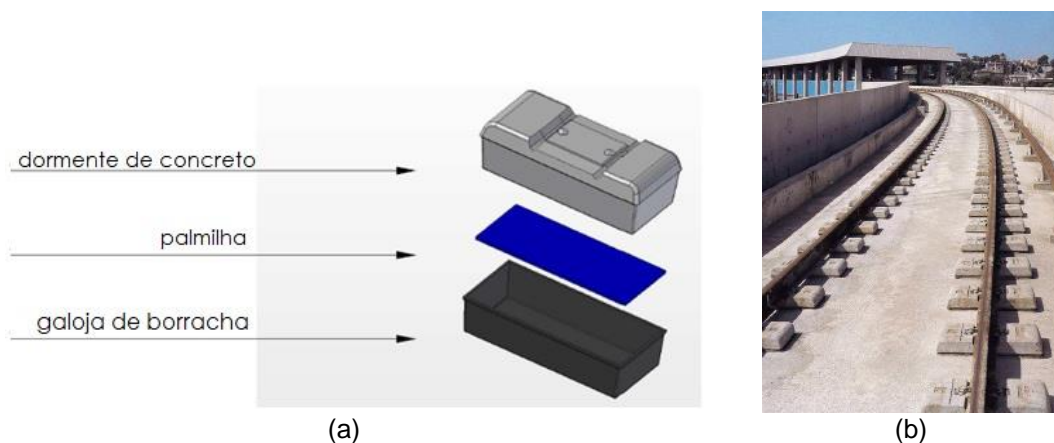


Figura 3.3: Esquema de montagem do sistema LVT (a) e foto dos trilhos da via elevada (b).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estudo realizado na Croácia por Lakušić et alli, 2010, versou sobre a comparação entre níveis de pressão sonora calculados e medidos nas estações de *Zagreb* e *Osijek*. Os dados obtidos correspondem à média de exposição, ou seja, valores representativos de um intervalo suficientemente grande para captar o ruído de fundo e o gerado pelos trens, na mesma variável. Com decibelímetros do fabricante *Brüel and Kjaer*, o L_{Aeq} mínimo obtido foi 56,4 dB(A), enquanto o máximo foi de 67,5 dB(A).

Na Malásia, Shariff, 2016, abordou em sua dissertação de Mestrado o levantamento dos níveis de pressão sonora em estações da linha *LRT Kelana Jaya*. Os equipamentos foram

instalados a distâncias de 2, 4, 6, 8 e 10 metros dos trilhos. Como resultado, somente nos pontos de 2 e 4 metros houve excedência do limite estabelecido por norma local, isto é, por volta de 80 dB(A). Após análise desse estudo, percebe-se ser razoável a determinação da norma brasileira de impor a distância de 3 metros entre microfone e centro do carro.

Strauch, 2016, estudou os níveis de pressão sonora aos quais os passageiros da Trensurb se submetem no interior dos trens antigos da empresa, durante sua viagem, além da dose de ruído a que os operadores dos veículos se sujeitam. Testa, 2017, deu seguimento ao estudo e analisou os níveis de pressão sonora e os valores de dose de ruído no interior dos trens novos da empresa. Ambos abordam o tema como um problema de conforto e saúde. O presente trabalho serve como um complemento aos estudos anteriores. Uma vez que os resultados de Strauch e Testa se aplicam ao período em que os passageiros se encontram em trânsito, no interior dos trens, os resultados deste estudo se aplicarão aos momentos anterior, enquanto os usuários aguardam a chegada do veículo, e posterior, após o desembarque do carro metropolitano. A abordagem deste trabalho é como um problema de conforto.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Equipamentos

Os aparelhos disponíveis na UFRGS para a realização das medições são dois decibelímetros do fabricante *Brüel and Kjaer*, modelos *Type 2250*, instalados em tripés. Esses equipamentos são muito versáteis, pois, além de gravarem o L_{Aeq} , principal grandeza de interesse no estudo, gravam o som através de um microfone e medem outras variáveis relacionadas à acústica, como nível de pressão sonora por banda de frequências. A Figura 5.1 ilustra o equipamento montado no tripé e seu modelo. Nota-se o protetor de vento para microfone fixado na sua extremidade, cuja função é reduzir as variações de NPS causadas pelo vento.

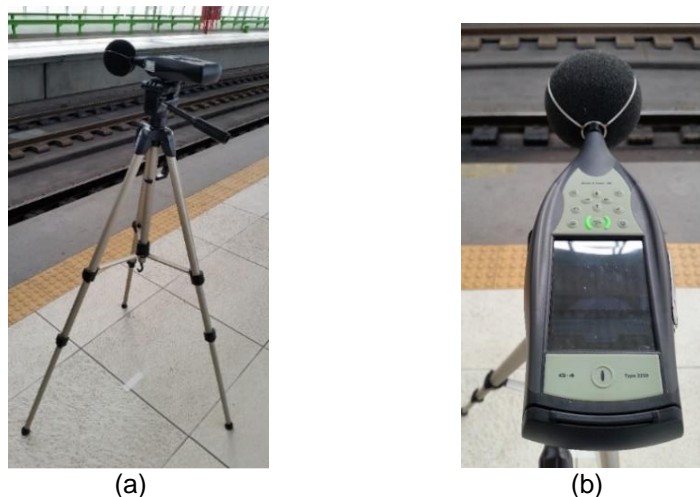


Figura 5.1: Decibelímetro montado em tripé (a) e modelo do equipamento utilizado (b).

Os equipamentos foram calibrados para a execução das medições em cada estação. A Tabela A.1 dos parâmetros do procedimento encontra-se no anexo.

5.2 Estações analisadas

Foram analisadas duas estações distintas. As escolhas basearam-se na disponibilidade da equipe da Trensurb, com a exigência de que uma fosse antiga e a outra moderna. A primeira foi a Santo Afonso, localizada no município de Novo Hamburgo. Essa estação integra o trecho moderno da via, possui duas plataformas e sua estrutura arquitetônica é semelhante a um túnel, isolando o interior do ambiente externo. Sua cobertura estrutural foi construída com chapas

metálicas e de policarbonato incolor. Nela, os trens passam pelo meio das plataformas. A Figura 5.2 a ilustra.

Ao longo de todo o trecho moderno, a via e as estações são elevadas. No caso da Santo Afonso, são 7,8 metros de altura da Rua Primeiro de Março. Apesar de não fazerem parte da estação, é interessante comentar que as muretas de proteção no trecho novo são compostas de concreto e material acústico, a fim de absorver o ruído dos trens e, de certa forma, do trânsito rodoviário. A Figura 5.3 mostra a estação Santo Afonso vista de fora e os absorvedores acústicos nos muros.



Figura 5.2: Interior da estação Santo Afonso.



Figura 5.3: Vista externa da estação Santo Afonso (a) e muretas com isolamento acústico (b).

A segunda foi a estação Fátima, situada em Canoas. Ela é composta por concreto, situa-se na parte antiga da via e possui apenas uma plataforma, cuja cobertura é apoiada por séries de dois pilares. O ambiente externo não é isolado, e nela os trens passam pelos lados da plataforma. Sua configuração é mostrada na Figura 5.4. É possível observar a Avenida Guilherme Schell à direita da imagem e a Rodovia BR-116 à esquerda. Em ambos os lados, os muros são de concreto e vazados verticalmente, o que auxilia na dissipação do som provocado pelos trens.



Figura 5.4: Estação Fátima.

5.3 Metodologia

Os equipamentos foram posicionados no início e no final das plataformas, ou seja, em dois pontos, visando uma avaliação acusticamente mais completa dos fenômenos de aceleração e desaceleração. Mediram-se oito trens em cada estação.

Como existem dois tipos de estação em relação à disposição dos trilhos, as medições foram realizadas de duas maneiras. Na estação Fátima, posicionaram-se os equipamentos para o mesmo lado da plataforma. O decibelímetro 1 mediu a chegada do trem, e o decibelímetro 2, a partida. Para fins de nomenclatura, marcou-se o ponto A no início da plataforma, para se analisar a desaceleração do trem, e o ponto B, no final, para se analisar a aceleração. Em resumo: ponto A refere-se sempre à chegada dos trens, e ponto B refere-se sempre à partida.

Ainda na estação antiga, espelharam-se as posições dos medidores para as medições no outro trilho. Com isso, o decibelímetro 1 passou a ocupar o ponto B, e o 2 passou a ocupar o ponto A. Com esta disposição, analisaram-se os trens operando em sentido interior-capital. Os que passavam em sentido contrário, isto é, atrás dos decibelímetros, foram desconsiderados.

Na estação Santo Afonso, os procedimentos foram mais simples. Mediu-se apenas em uma plataforma, pois a estação é simétrica em relação ao ruído ambiente, e esperam-se os mesmos resultados em ambos os lados. Com isso, o decibelímetro 2 foi instalado no ponto A, e o 1, no ponto B. Apenas os trens que operavam em sentido interior-capital foram medidos. Os que transitavam em sentido contrário, pela outra via, novamente foram desconsiderados.

As Figuras 5.5 e 5.6 esquematizam as posições dos decibelímetros nas plataformas das estações analisadas. Na estação Fátima, o projeto capital-interior foi denominado Trem002; o interior-capital, Trem003. Na Santo Afonso, o projeto único denomina-se Trem001. O sentido de tráfego dos trens é indicado pela seta cinza vazada.

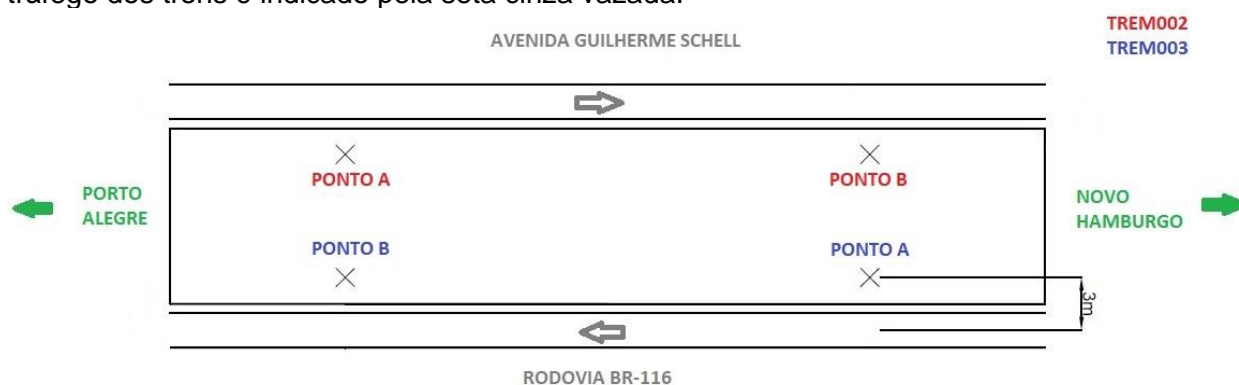


Figura 5.5: Esquema da plataforma da estação Fátima.

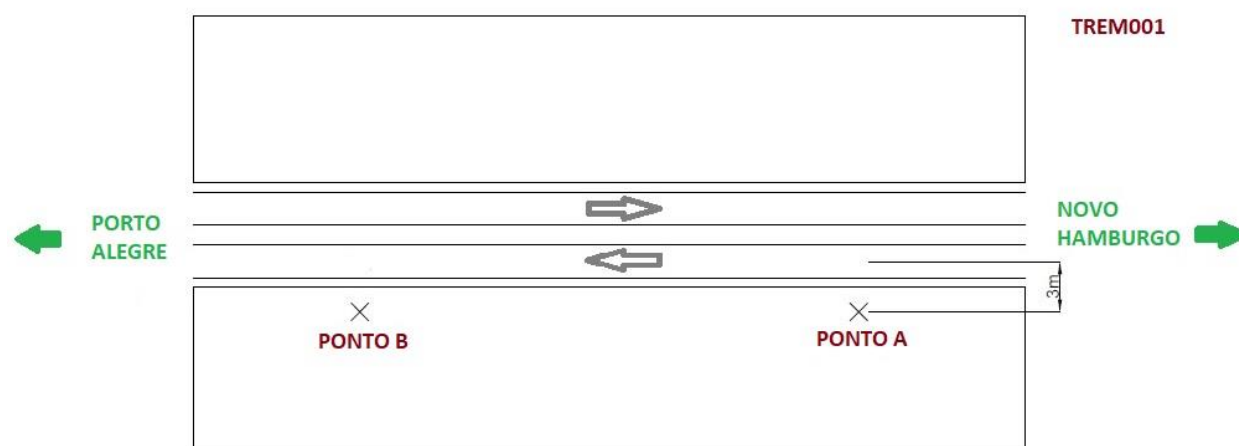


Figura 5.6: Esquema das plataformas da estação Santo Afonso.

Durante as medições, professor e aluno anotaram em tabelas os horários e eventos ocorridos. A cada vez que um trem passava pelo trilho de interesse, seu número de série e a informação “novo/velho” eram registrados. Ruídos ambientes excepcionais, como buzinas, também foram contabilizados.

Antes da primeira medição ser realizada, observou-se a necessidade de criar um padrão de posição dos veículos que marcasse o início do intervalo de dados para a chegada e o final do intervalo para a partida. Assim, em ambas as estações, estabeleceu-se que a marcação de “início da chegada” corresponderia ao horário exato de passagem da frente do trem pela borda de início da plataforma, antes de passar pelo ponto A. Da mesma maneira, o rótulo “fim da partida” seria atribuído ao momento exato em que a traseira do veículo cruzasse a seção transversal da estação na extremidade da plataforma, depois de passar pelo ponto B. O intervalo de parada do trem tem início no primeiro segundo em que este se encontra em repouso, e termina no segundo que antecede seu deslocamento de partida.

Os resultados adquiridos pelos decibelímetros foram processados pelo software do fabricante, o *Measurement Partner Suite*. Sua interface permite exportar os dados de segundo a segundo para uma planilha *Excel*. As grandezas de interesse são o L_{Aeq} e o L_{Aeq} por espectro de frequências, além do instante de tempo em que os valores foram adquiridos. Como os registros foram feitos em uma única gravação por projeto e duraram mais do que os fenômenos estudados (aproximadamente uma hora), foi necessário separar as gravações em intervalos e calcular os níveis de pressão sonora equivalentes para cada fenômeno de ruído de fundo, chegada e partida de cada trem. Posteriormente, calcularam-se as médias dos níveis sonoros equivalentes das operações de chegada, partida e ruído de fundo por projeto. Para isso, utilizou-se a seguinte equação, retirada da norma NBR 10151/2000:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{Aeqi}/10} \right)$$

onde L_{Aeqi} representa os níveis sonoros registrados de segundo a segundo, e n é o número de dados contabilizados.

Com a funcionalidade de reproduzir o áudio gravado durante a medição e os instantes de tempo de cada evento registrados manualmente, separaram-se os intervalos. Os resultados foram comparados com o limite disposto na NBR 13068/1997: 85 dB(A). Os valores acima deste indicam desconforto acústico. Para uma análise mais visual, os dados de L_{Aeqi} foram dispostos em gráficos pelo tempo. Neles é possível identificar eventuais pontos que ultrapassaram o limite e verificar a que se deveu o ocorrido.

De maneira semelhante, calculou-se o nível sonoro equivalente por espectro de frequência do ruído de fundo e dos fenômenos de chegada e partida, plotando-se os resultados em gráficos. Assim, com os valores de L_{Aeq} conhecidos para as frequências de bandas de oitava de 63 a 16.000 Hz, pôde-se avaliar em qual frequência ocorreu maior contribuição de ruído do trem, por comparação dos gráficos.

Finalmente, foi possível sugerir, para um trabalho futuro, um tratamento acústico com *baffles* nas estações, uma vez que foram identificadas as faixas de frequência significativas dos sons provocados pelos trens. É importante salientar, contudo, que os valores de contribuição dos veículos são apenas estimativas, pois o L_{Aeq} de ruído de fundo e o L_{Aeq} dos trens referem-se a intervalos de tempo diferentes.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Estação Santo Afonso

A Tabela 6.1 mostra os valores de L_{Aeq} para os fenômenos de chegada, partida e para o tempo em que o trem permaneceu parado, necessário ao embarque e desembarque dos passageiros. Espera-se que, durante a partida, os valores coletados com o decibelímetro 1 sejam mais elevados do que os coletados com o decibelímetro 2, visto que aquele foi posicionado perto

da extremidade de saída da plataforma, no ponto B. Da mesma maneira, durante a chegada, o decibelímetro 2 registrou níveis de pressão sonora maiores, pois foi colocado perto da extremidade de entrada, no ponto A.

Dos oito trens medidos, dois apresentaram resultados maiores de 85 dB(A) em valores de partida, enquanto seis extrapolaram o limite na chegada. Em termos de valores globais para os fenômenos, observa-se que a operação de chegada representa uma situação de desconforto acústico, segundo a NBR 13068/1997. A operação de partida, marcada em amarelo, está de acordo com a norma, mas também pode ser considerada desconfortável, pois por apenas 0,1 dB(A) não atingiu o limite.

Ao final da Tabela 6.1, são listados os L_{Aeq} de ruído de fundo calculados para cada decibelímetro e sua respectiva média. Referem-se a intervalos de tempo em que não houve a passagem de nenhum trem, em ambos os sentidos da via. Os valores reduzidos ocorrem devido à arquitetura enclausurada da estação, o que dificulta a penetração do ruído ambiente externo. Essa mesma característica, no entanto, promove a reflexão do ruído gerado pelos trens, no interior do recinto, diminuindo sua dissipação. Isso explica a realidade acústica desconfortável quando se observa um veículo chegar à ou partir da estação Santo Afonso.

O pior caso registrado foi o do Trem Velho 104, com 2,1 dB(A) acima do limite durante a chegada e 3,1 dB(A) durante a partida. Cabe salientar que o NPS depende de muitas variáveis, entre elas as condições mecânicas do trem e o modo de condução do piloto. Assim, existem diferenças de L_{Aeq} de um veículo para outro, mesmo sem alterar as outras condições de medição.

Tabela 6.1: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem001 [dB(A)].

Projeto	Trem	Decibelímetro 1 – Ponto B			Decibelímetro 2 – Ponto A		
		Chegada	Parado	Partida	Chegada	Parado	Partida
Trem001	Velho 111	83,0	73,7	82,1	86,3	71,1	75,1
	Velho 104	79,6	72,0	88,1	87,1	73,7	81,2
	Novo 234	80,5	74,4	85,9	85,3	68,9	80,6
	Velho 123	77,8	72,2	81,6	86,4	69,4	75,1
	Velho 112	76,8	74,7	82,4	84,0	72,1	76,9
	Velho 107	81,3	76,0	82,3	85,1	72,7	74,9
	Velho 109	83,6	74,0	84,0	85,9	72,5	76,4
	Velho 102	75,3	71,5	81,2	84,7	71,6	75,7
	Média	80,5	74,1	84,9	85,5	70,8	79,2
	Ruído de Fundo	61,5			62,2		
Média	61,9						

Os valores de L_{Aeq} por instante de tempo do pior caso, Trem Velho 104, são mostrados nos gráficos das Figuras 6.1 e 6.2. Ao longo das séries de dados, foram marcados pontos em vermelho, que indicam valores acima de 85 dB(A) e cuja fonte de ruído são os trens. As Figuras A.2 e A.3, no apêndice, ilustram os gráficos do Trem Novo 234, e a Figura A.9 ilustra os modelos dos trens (Novo e Velho).

Analisando-se mais a fundo os resultados do Trem Velho 104, identifica-se o valor de 93,5 dB(A) na partida, na Figura 6.1, e de 95,6 dB(A) na chegada, na Figura 6.2. O áudio da medição revela o motivo de tais ocorrências: na partida, barulho de origem elétrica devido ao acionamento dos motores; na chegada, ruído oriundo dos motores associado ao apito agudo dos freios.

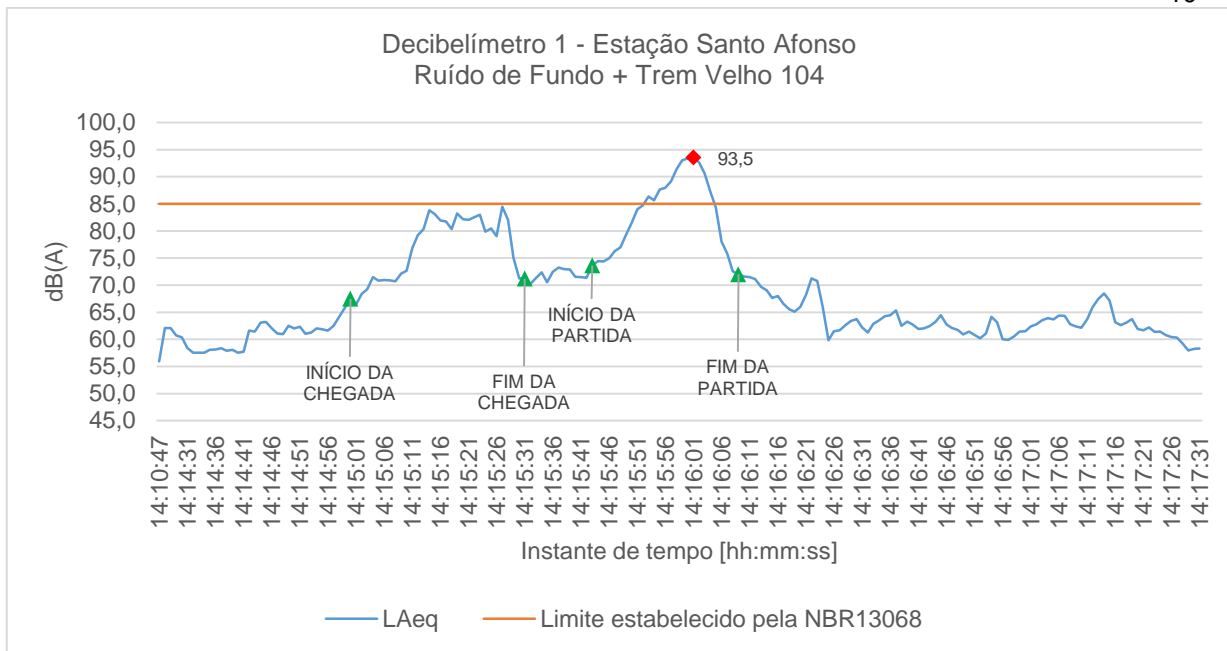


Figura 6.1: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 104 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem001.

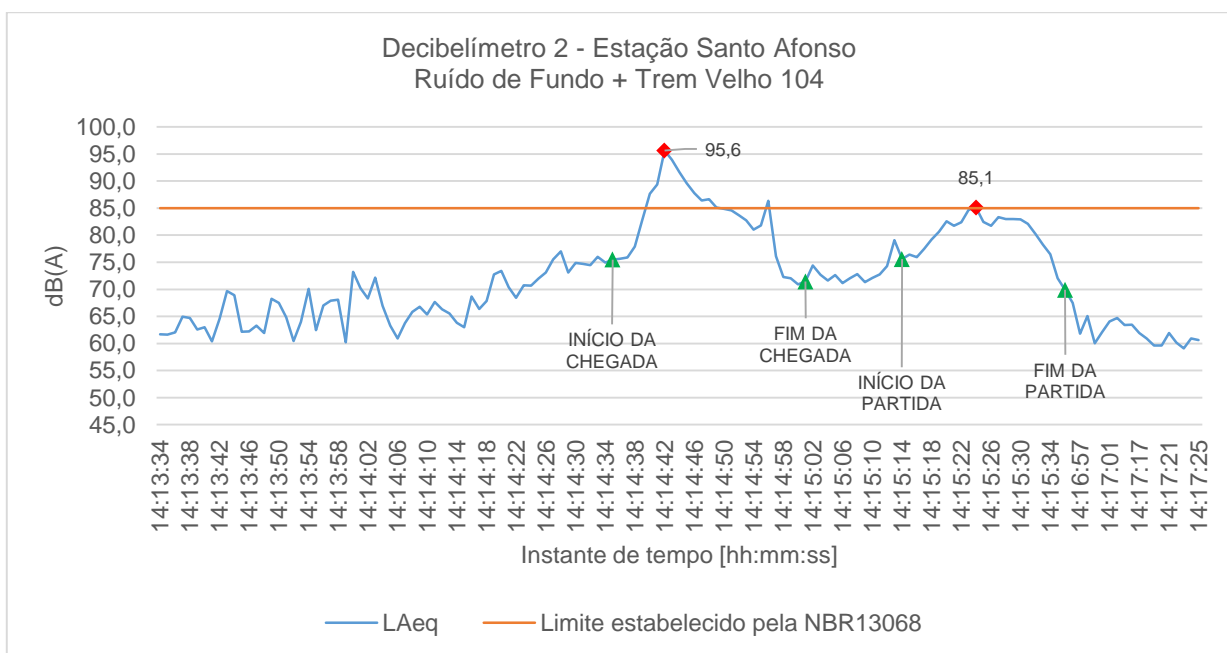


Figura 6.2: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 104 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem001.

Nota-se que os níveis de pressão sonora começam a aumentar mesmo antes da chegada do trem, e param de diminuir depois da sua partida. Isso ocorre porque o som gerado por este pode ser ouvido na estação antes da passagem pela seção transversal que marca o início da chegada, e depois da passagem pela seção que indica o fim da partida.

6.2 Estação Fátima

O padrão obtido na estação Fátima é diferente do obtido na Santo Afonso em vários aspectos. Na estação antiga, em nenhum caso ocorreram níveis sonoros equivalentes acima de 85 dB(A). Registraram-se ruídos de fundo maiores no projeto Trem003 devido à proximidade dos equipamentos ao tráfego da Rodovia BR-116. O fato da estação possuir uma arquitetura aberta

ao ambiente externo favorece a participação do ruído de fundo nas medições. Em contrapartida, a mesma configuração permite a dissipação do som gerado pelos trens, diminuindo, assim, os valores de NPS registrados para os carros metropolitanos. As Tabelas 6.2 e 6.3 resumem os valores de L_{Aeq} dos trens e de ruído de fundo para os projetos Trem002 e Trem003, respectivamente.

Tabela 6.2: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem002 [dB(A)].

Projeto	Trem	Decibélímetro 1 – Ponto A			Decibélímetro 2 – Ponto B		
		Chegada	Parado	Partida	Chegada	Parado	Partida
Trem002	Velho 105	83,6	79,4	77,6	81,6	80,3	79,7
	Velho 112	79,3	77,8	77,7	77,3	78,9	81,2
	Novo 229	81,2	79,2	78,9	79,7	82,1	80,7
	Velho 111	81,2	80,2	79,8	79,4	80,6	82,7
	Média	81,4	79,2	78,7	79,7	81,2	81,1
	Ruído de Fundo		78,6			79,0	
Média		78,8					

Tabela 6.3: L_{Aeq} Trens e L_{Aeq} Ruído de Fundo para o projeto Trem003 [dB(A)].

Projeto	Trem	Decibélímetro 1 – Ponto B			Decibélímetro 2 – Ponto A		
		Chegada	Parado	Partida	Chegada	Parado	Partida
Trem003	Velho 103	80,1	75,5	78,4	81,4	79,0	79,5
	Velho 119	79,9	76,7	77,8	78,8	80,2	79,5
	Velho 108	80,1	76,7	79,0	80,3	80,8	80,6
	Velho 105	78,6	74,2	77,2	78,9	76,2	80,6
	Média	79,7	75,9	78,1	80,0	79,4	80,1
	Ruído de Fundo		79,9			80,0	
Média		80,0					

Em alguns casos, os níveis de pressão sonora de ruído de fundo encontram-se em patamar superior aos NPS de chegada e partida dos trens. Isso ocorre porque os intervalos de tempo que cobrem os fenômenos de chegada e partida são menores do que os usados para o cálculo do L_{Aeq} de ruído de fundo (da ordem de 20 contra 90 segundos). Além disso, muitos são os fatores que elevam os valores do L_{Aeq} de ruído de fundo ao longo da medição, como a passagem de veículos pesados pela rodovia, motos sem silenciador e até mesmo caças F-5 da Força Aérea Brasileira. Em um período menor, ocorrem menos fatores desse tipo.

As Figuras 6.3 e 6.4 mostram os gráficos dos valores de L_{Aeq} por instante de tempo referentes ao Trem Velho 105, durante o projeto Trem002. Diferente do observado na estação Santo Afonso, os valores superiores a 85 dB(A) são devido a veículos que transitavam ao redor da estação, durante os intervalos de ruído de fundo.

Quando a grandeza L_{Aeq} extrapola o limite durante a chegada do trem, a causa é a passagem de uma moto e um caminhão. Comparando-se atentamente os dois gráficos, percebe-se o mesmo comportamento da série L_{Aeq} , com uma pequena diferença de magnitude. Para os pontos destacados, pode-se dizer que o decibélímetro 1 mediu a moto, o caminhão e o trem, enquanto o 2 mediu somente a moto por dois motivos: o primeiro é porque o decibélímetro 1 percebe o trem se aproximando antes do 2, por se situar no ponto A. A segunda explicação é que a diferença entre a leitura dos equipamentos é da ordem de 2 dB(A) nos instantes de passagem dos veículos, e de apenas 0,2 dB(A) num instante posterior à partida do trem, quando passou outro caminhão. Isso evidencia a contribuição do trem nos pontos vermelhos da Figura 6.3, mas no ponto roxo da Figura 6.4 a causa da excedência é apenas a moto.

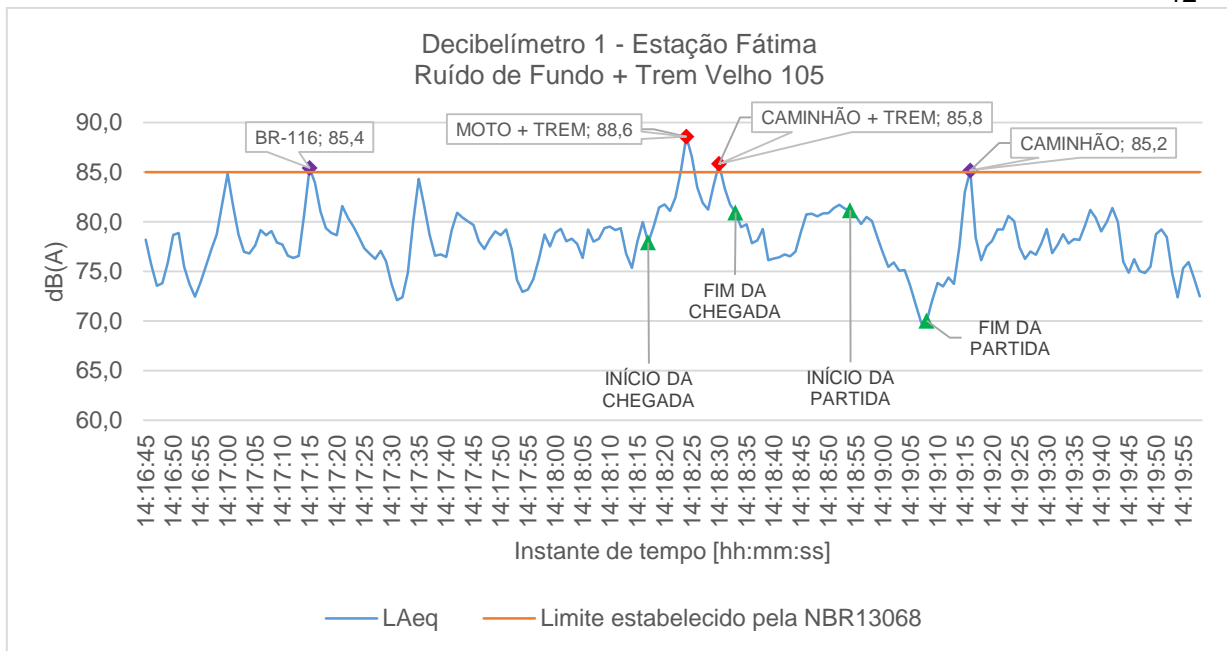


Figura 6.3: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 105 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem002.

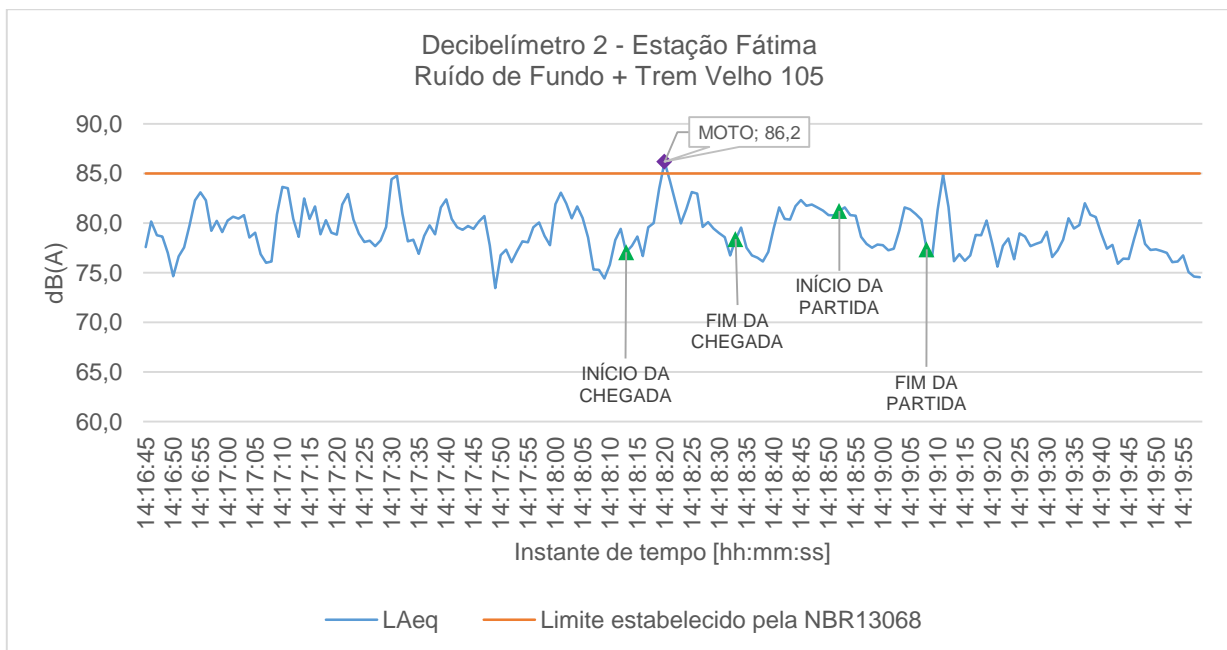


Figura 6.4: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 105 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem002.

Os gráficos de L_{Aeq} por instante de tempo do Trem Velho 108 estão disponíveis nas Figuras 6.5 e 6.6. Mesmo sendo este o pior caso do projeto Trem003, verifica-se apenas um ponto acima de 85 dB(A), que ocorreu junto à passagem de um caminhão pela rodovia. Fica evidente que a situação é de conforto, segundo a norma.

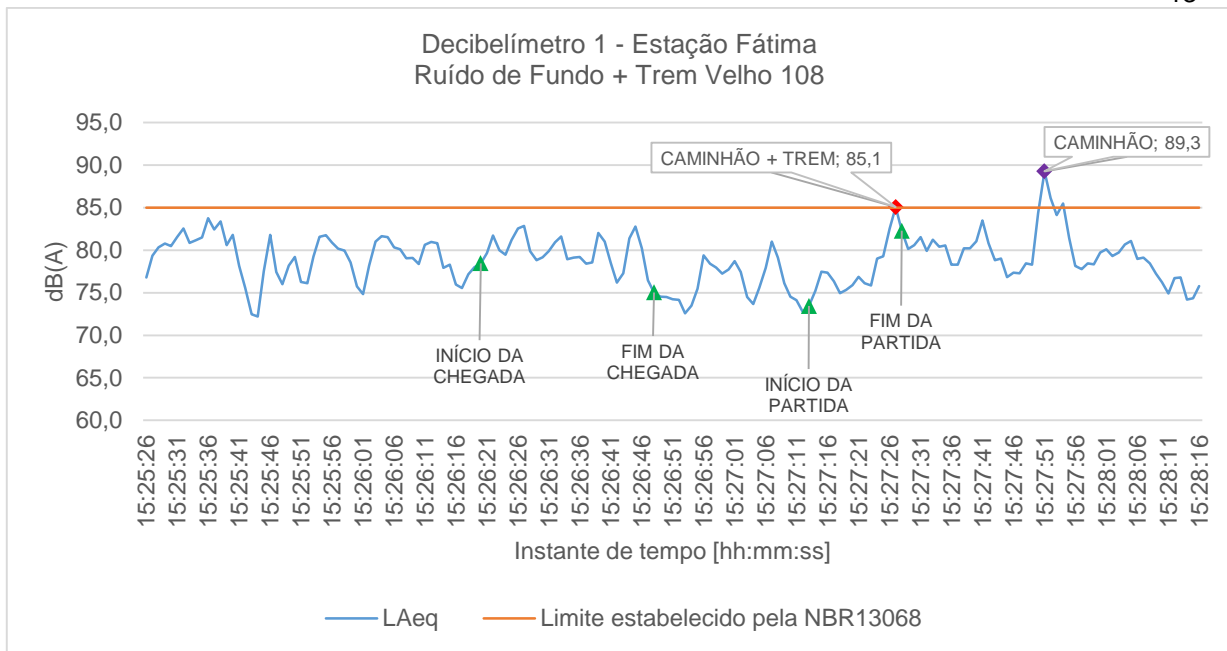


Figura 6.5: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 108 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem003.

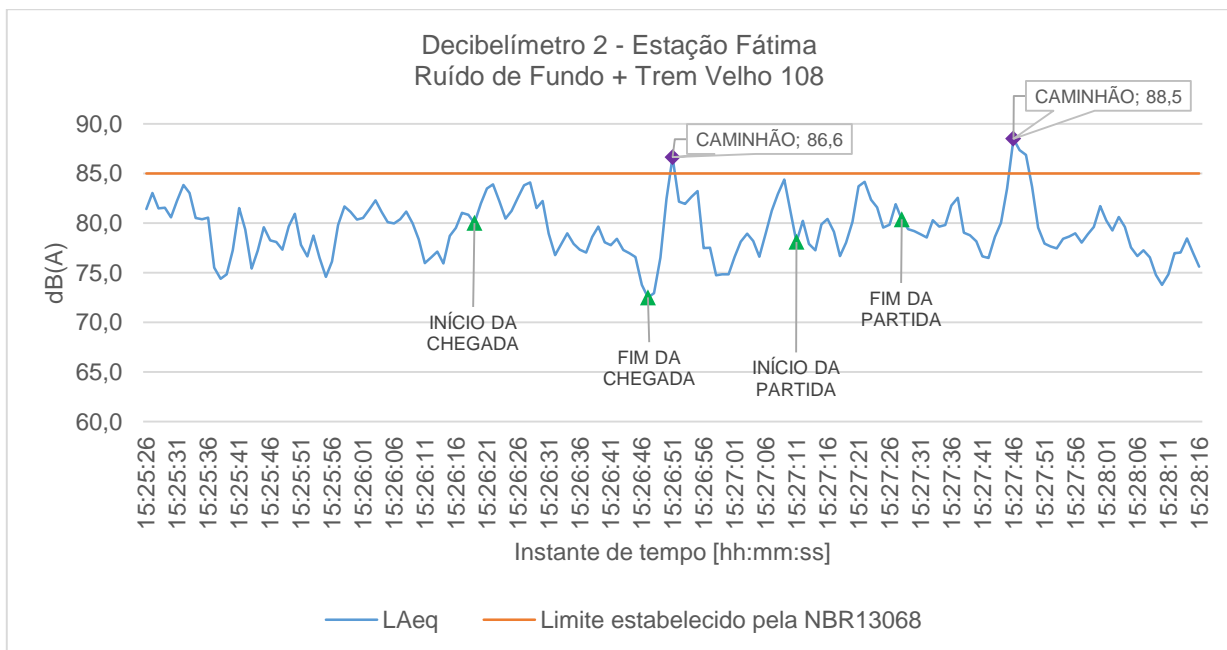


Figura 6.6: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 108 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem003.

No apêndice, são encontrados os gráficos de nível sonoro equivalente por instante de tempo dos trens Novo 229 e Velho 119, durante os projetos Trem002 e Trem003, respectivamente. As Figuras A.5 e A.6 referem-se ao primeiro, e as Figuras A.7 e A.8, ao último.

6.3 Espectro sonoro de frequências

Os gráficos de “nível sonoro equivalente x banda de frequência” foram elaborados com o intuito de se sugerir uma melhoria acústica na estação Santo Afonso, pois foi a única a apresentar valores de L_{Aeq} maiores de 85 dB(A). Para o projeto Trem001, o pior caso foi o Trem Velho 104. Seus espectros são ilustrados na Figura 6.7, sendo os dados de partida medidos pelo

decibelímetro 1, e os de chegada, pelo decibelímetro 2. No apêndice, são encontrados os gráficos de espectro do Trem Novo 234, durante o mesmo projeto, na Figura A.4.

Em relação aos gráficos de espectro, a série azul é composta de apenas ruído de fundo, enquanto a laranja representa o som gerado pelo trem associado ao ruído de fundo. A diferença entre elas estima a contribuição do trem ao espectro. Como sugestão de melhoria para um trabalho futuro, espera-se que a aplicação de *baffles* atuantes nas frequências cujos níveis sonoros foram mais elevados retorne uma melhoria significativa na situação acústica da estação. Em ambos os casos, sugere-se uma atenuação na faixa entre 250 e 2.000 Hz, e considera-se importante a contribuição em alta frequência no dimensionamento dos *baffles*, pois se percebe, na Figura 6.7, um grande aumento no L_{Aeq} em 8 KHz e 16 KHz, quando o trem se movimenta.

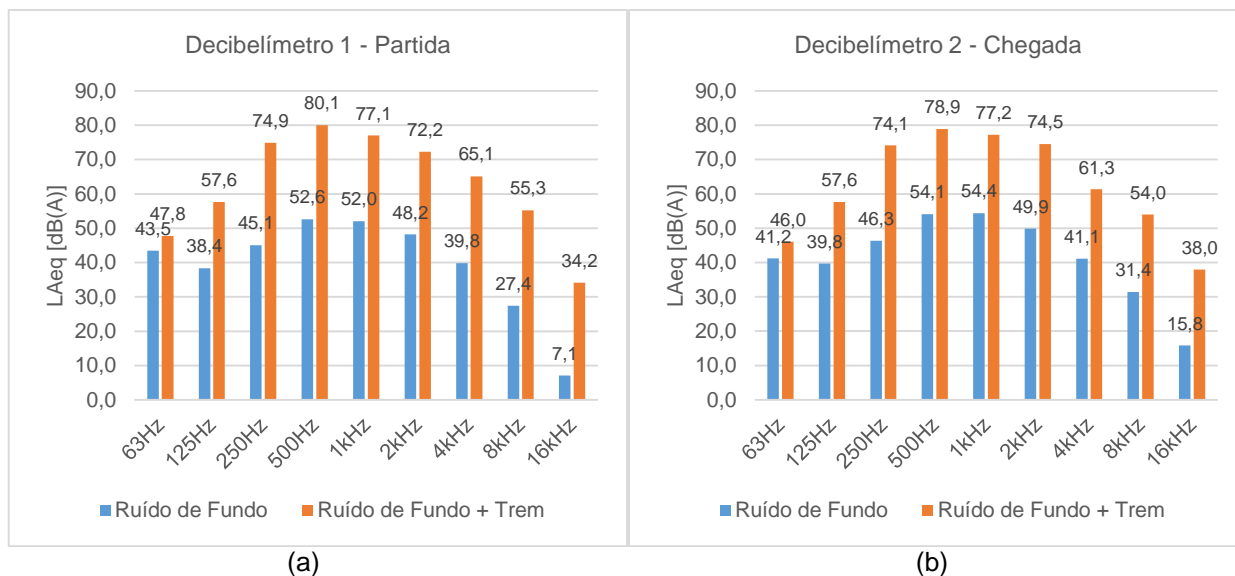


Figura 6.7: Espectro de frequências para partida (a) e chegada (b) do Trem Velho 104 na estação Santo Afonso.

7 CONCLUSÕES

Na estação Santo Afonso, os passageiros permanecem confortáveis a 61,9 dB(A) de ruído de fundo, enquanto aguardam o trem. Quando o veículo chega, a arquitetura enclausurada faz com que o som seja refletido no interior do recinto, elevando os níveis de pressão sonora para a média de 85,5 dB(A). Esse valor elevado sem dúvida causa desconforto, que é, no entanto, momentâneo, pois o tempo médio de chegada dos veículos é de 20 segundos. Uma pessoa que chega à plataforma de embarque logo após o veículo fechar suas portas estará sujeita ao ruído de aceleração. Enquanto o trem parte, esse passageiro experimenta em média 84,9 dB(A), novamente por um curto período de tempo, da mesma ordem. Por ser apenas 0,1 dB(A) abaixo do limite estabelecido, a operação de partida pode ser considerada desconfortável na estação Santo Afonso. O tempo de exposição ao ruído de fundo do passageiro dependerá dos intervalos entre viagens escalados pela empresa, podendo chegar a 20 minutos.

Na estação Fátima, o ruído mais incômodo é o de fundo, com valor médio de 80 dB(A). Quando o trem chega, sua estrutura aberta permite a dissipação do som, elevando os níveis de pressão sonora à média de 81,4 dB(A). Percebe-se a diferença de apenas 1,4 dB(A) provenientes do carro metropolitano, contra 23,6 dB(A) na Santo Afonso. Tomando novamente como exemplo a situação hipotética do passageiro atrasado, na estação Fátima, esta pessoa se sujeitaria a um valor médio de 81,1 dB(A) durante a aceleração do trem. Os intervalos de tempo de chegada e partida são da ordem de 20 segundos.

Apesar da estação Fátima ser considerada confortável pela NBR 13068/1997, uma vez que nenhum valor de L_{Aeq} extrapolou 85 dB(A), a sensação ao esperar o trem nessa estação é de desconforto. Quanto mais tempo o passageiro esperar pelo veículo, mais incômodo o ruído

será, pois os níveis equivalentes de ruído de fundo são elevados. Na Santo Afonso ocorre o contrário. Mesmo sendo considerada desconfortável pela norma, um passageiro somente se sentirá incomodado pelo ruído durante os poucos segundos de movimentação do trem.

A fim de melhorar acusticamente a estação Santo Afonso, sugere-se a instalação de *baffles* com atenuação para frequências de 250, 500, 1.000 e 2.000 Hz pelos altos valores de L_{Aeq} registrados, e nas frequências de 8.000 e 16.000 Hz pela grande contribuição do trem ao espectro. Para tornar a estação Fátima mais confortável aos usuários, sugere-se seu isolamento do ambiente externo, seguindo-se o modelo das estações modernas. Caso essa melhoria seja aplicada, será necessário um estudo dos espectros de frequência na plataforma, a fim de se verificar a necessidade da aplicação de *baffles*, como na Santo Afonso.

Por fim, uma melhor especificação dos limites e condições de análise por parte da norma possibilitaria que conclusões mais condizentes com a realidade surgissem. De fato, baseando-se na percepção subjetiva por parte do aluno e orientador durante as medições de 1 hora, a estação que apresenta maior desconforto acústico é a que está dentro do limite imposto pela NBR 13068/1997. A estação considerada desconfortável em valores de L_{Aeq} incomoda pouco os passageiros. Sugere-se uma reformulação dos critérios de classificação utilizados pela norma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. “**NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento**”. Rio de Janeiro, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. “**NBR 13067: Carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos - Determinação dos níveis de ruídos**”. Rio de Janeiro, 1997.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. “**NBR 13068: Ruídos interno e externo em carro metropolitano e veículo leve sobre trilhos (VLT)**”. Rio de Janeiro, 1997.

Bistafa, S. R. B., “**Acústica aplicada ao controle do ruído**”. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

Brüel & Kjaer, “**Modelo 2250: Manual do Utilizador**”. Dinamarca, 2005.

Paozalyte, I., Grubliauskas, R., Vaitiekunas, P., “**Research of railway noise pollution at the living area of railway station in Klaipeda City and designing of noise barrier**”. Vilnius Gediminas Technical University, Lituânia, 2011.

Lakušić, S., Dragčević, V., Ahac, M., Ahac, S., “**Determination of noise levels in railway station zones**”. University of Zagreb, Croácia, 2010.

Miguel, L. F. F., Tamagna, A., “**Tópicos de Acústica Aplicada**”. 1ª edição. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

Saliba, T. M., “**Manual prático de avaliação e controle do ruído**”. 9ª edição. São Paulo: LTr, 2016.

Shariff, M. S. B., “**Evaluation of noise level in coach and train station at LRT Kelana Jaya Line**”. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Malásia, 2016.

Strauch, R. G., “**Análise de ruído interno para avaliação de conforto dos passageiros do Trensurb e avaliação da dose de ruído a que o operador do trem está exposto**”, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

Testa, L. C., “**Análise do ruído interno para avaliação do conforto dos passageiros dos novos trens da Trensurb e avaliação da dose de ruído a que o operador do trem está exposto**”, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ANEXOS

Tabela A.1: Parâmetros de calibração.

Estação	Parâmetro	Decibelímetro 1	Decibelímetro 2
Santo Afonso	Data da calibração	25/04/2018	25/04/2018
	Hora da calibração	12h26min02s	12h27min07s
	Sensibilidade (mV/Pa)	45,19	53,92
	Desvio de calibração relativo à inicial (dB)	- 0,74	- 0,21
Fátima	Data da calibração	02/05/2018	02/05/2018
	Hora da calibração	13h10min59s	13h11min20s
	Sensibilidade (mV/Pa)	45,12	53,90
	Desvio de calibração relativo à inicial (dB)	- 0,75	- 0,21



Figura A.1: Esquema da linha da Trensurb.

APÊNDICES

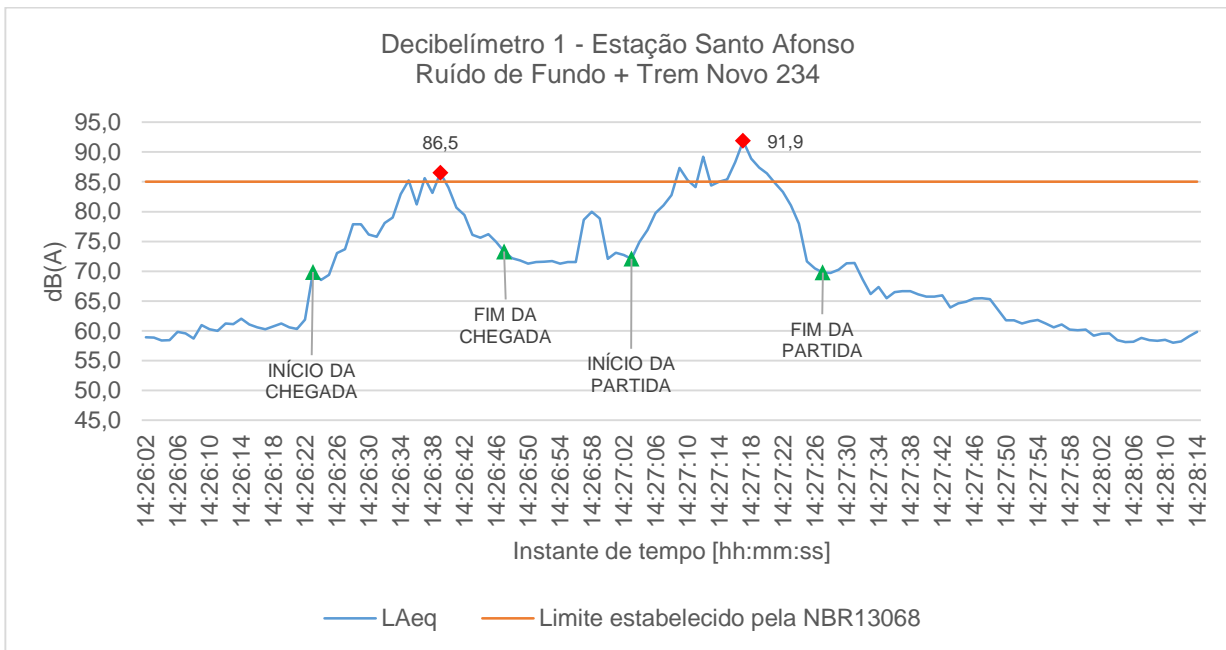


Figura A.2: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 234 e medidos pelo decibélímetro 1, durante o projeto Trem001.

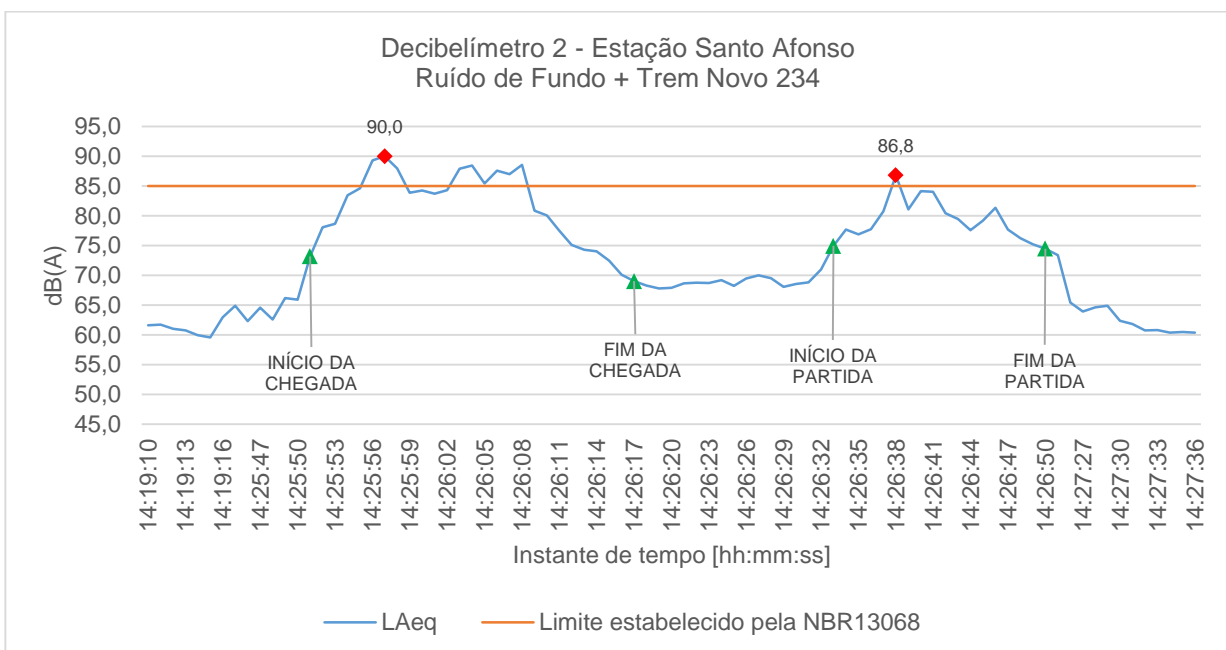


Figura A.3: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 234 e medidos pelo decibélímetro 2, durante o projeto Trem001.

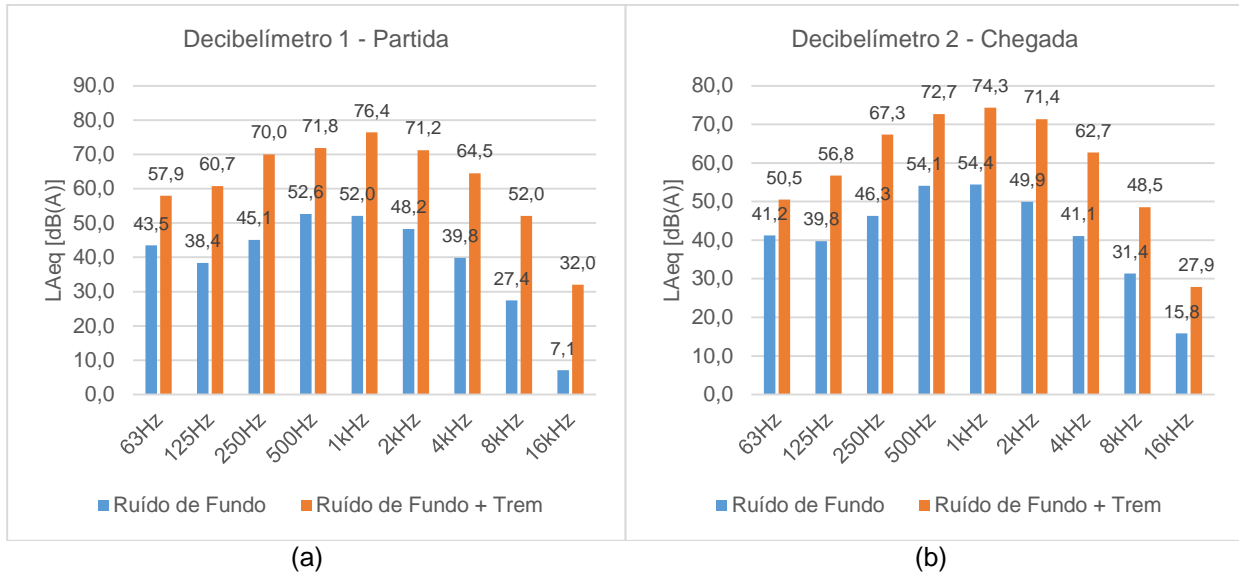


Figura A.4: Espectro de frequências para partida (a) e chegada (b) do Trem Novo 234 na estação Santo Afonso.

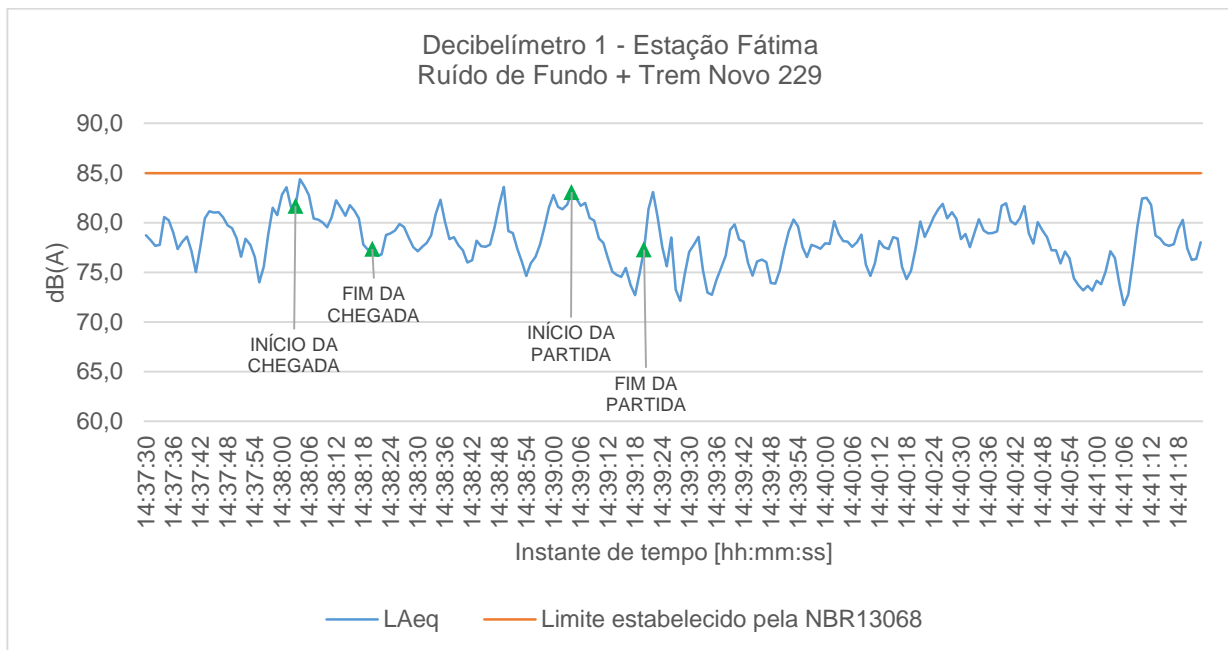


Figura A.5: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 229 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem002.

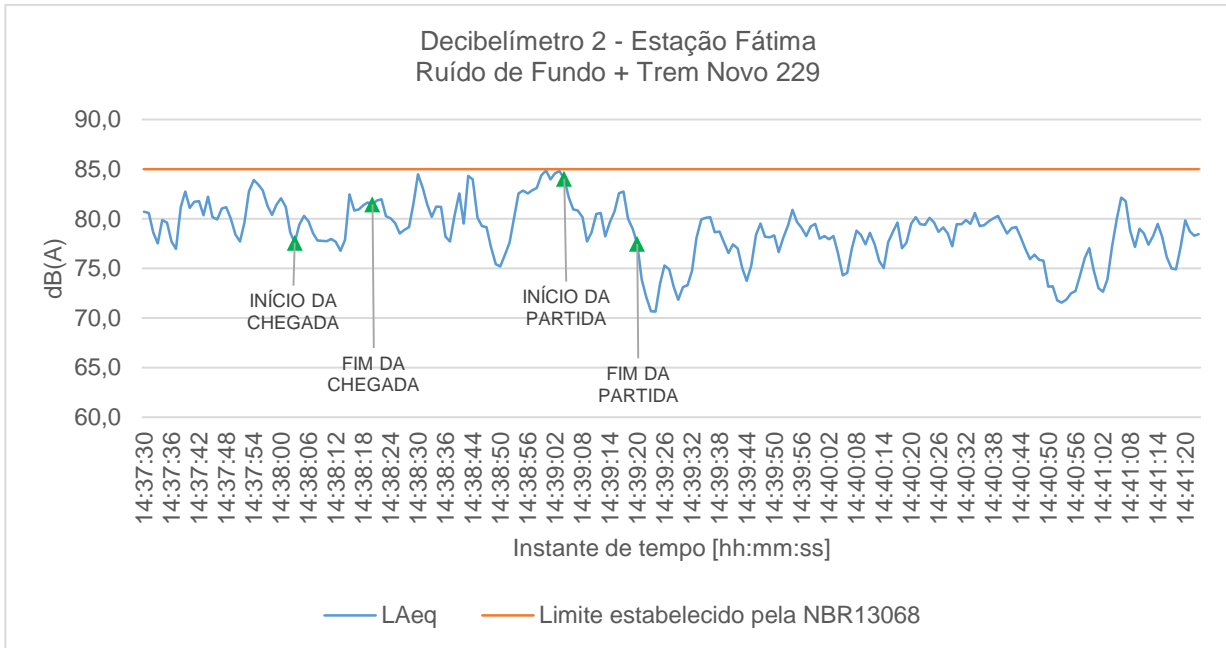


Figura A.6: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Novo 229 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem002.

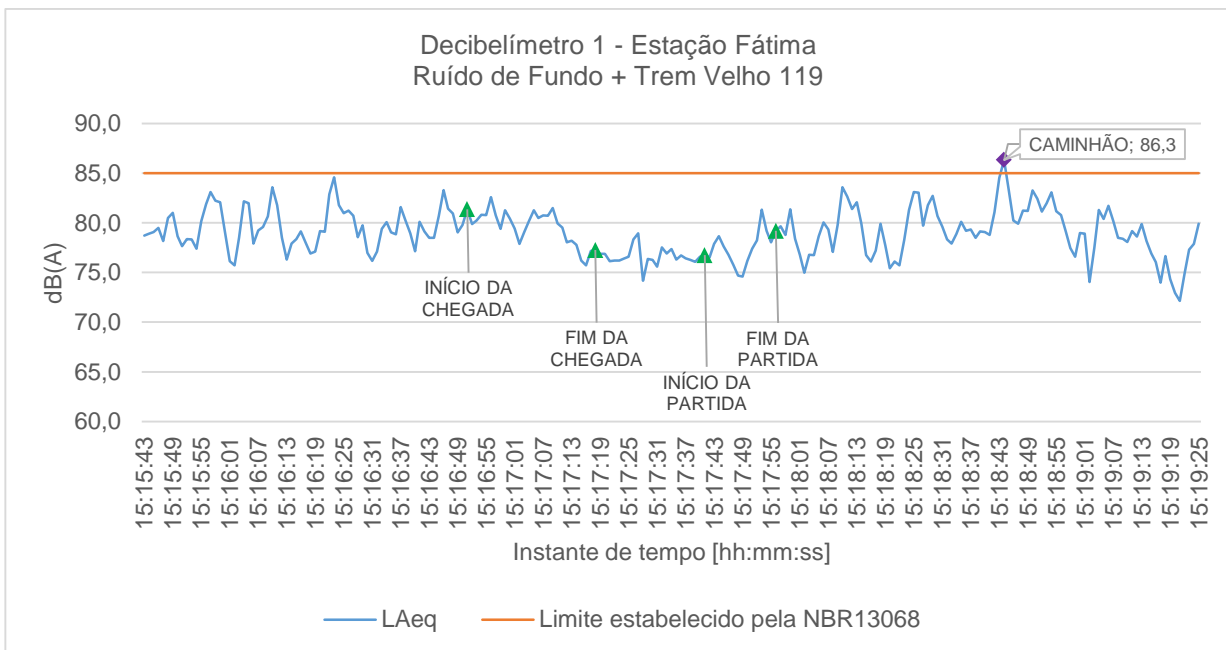


Figura A.7: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 119 e medidos pelo decibelímetro 1, durante o projeto Trem003.

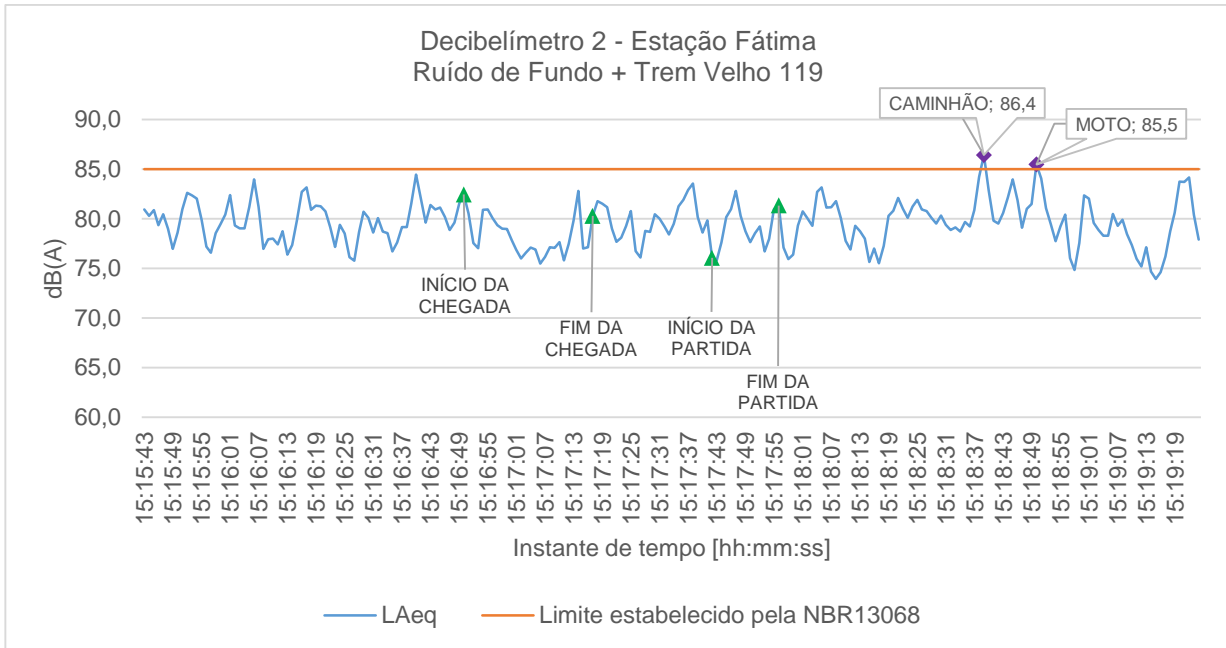


Figura A.8: Evolução dos níveis de pressão sonora gerados pelo Trem Velho 119 e medidos pelo decibelímetro 2, durante o projeto Trem003.



(a)



(b)

Figura A.9: Trens Novo (a) e Velho (b) da Trensurb.