

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

ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO DOS
PASSAGEIROS NO AEROMÓVEL DE PORTO ALEGRE

por

ALEXANDRE FIABANI

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, novembro de 2018

ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO DOS
PASSAGEIROS NO AEROMÓVEL DE PORTO ALEGRE

por

ALEXANDRE FIABANI

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. Thamy Cristina Hayashi
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Jakson Manfredini Vassoler

Porto Alegre, novembro de 2018

“If today were the last day of my life would I want to do what I am about to do today?”

Steve Jobs.

AGRADECIMENTOS

Aos pais, Edi Enia Fiabani e Valedemar Sílvio Fiabani, pelo apoio durante a vida pré-acadêmica e acadêmica e seus ensinamentos e conselhos.

Ao irmão, Vinícius Fiabani, que apesar de distante segue como exemplo profissional e pessoal.

A irmã, Viviane Fiabani, por estar sempre próxima independente da situação ou aventura e pelo exemplo profissional e pessoal.

Aos amigos de faculdade, Jean Pezzi, Douglas Schuck, Renan Bohn Schwarzbald, Lucas Foschieira, Jonatas Fagundes, Xiru, Roges Leopoldo, Eduardo Tormem, Guilherme Mello, Luciano Buzachi, Mateus Fritzen e William Altissimo pelos bons churrascos de 20 pila, pelas cervejas baratas consumidas durante o curso (lê-se: fora do horário de aula) e pelos momentos de descontração.

Aos professores do DEMEC da UFRGS, pelo conhecimento teórico e prático. Em especial para o Professor Juan Pablo Raggio Quintas, que me orientou e me guiou no final do curso. Também agradeço especialmente o Professor Alexandre de Paula pela oportunidade de desenvolver o trabalho de Iniciação científica durante a graduação.

Aos funcionários da UFRGS, pela prestatividade quando solicitados a ajudar.

A UFRGS, pela oportunidade que me foi dada para obter o título de Engenheiro Mecânico.

Aos colegas de trabalho da Pandrol – South America, em especial Mauricio Carvalho e Rugart Rambo que foram referência de conhecimento prático.

Ao engenheiro da Trensurb, Gustavo Knies, que prontamente auxiliou na parte prática deste trabalho.

FIABANI, A. **ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO DOS PASSAGEIROS NO AEROMÓVEL DE PORTO ALEGRE**. 2018. 16 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

Fontes de ruído estão permanentemente presentes em diversos meios de transporte que utilizamos diariamente, um desses é o Aeromóvel de Porto Alegre, foco deste trabalho. O Aeromóvel de Porto Alegre, que é um modelo de APM (Automated People Mover), faz a conexão da linha de trens da Trensurb com o Aeroporto Salgado Filho e se tornou uma nova alternativa de meio de transporte para suprir a necessidade de mobilidade em pequenas distâncias. Neste trabalho foi medido o nível de pressão sonora (NPS) que os passageiros estão expostos no modelo de veículo da Aeromóvel A100. Os valores de NPS encontrados foram comparados com os valores da norma americana ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08 e os resultados mostraram que quando o veículo está em movimento ou parado com portas abertas, mais de 70% das ocorrências do NPS ficaram abaixo dos 76 dB(A) permitidos pela norma, e para a situação em que o veículo está parado com portas fechadas, 100% das ocorrências do NPS ficaram abaixo dos 74 dB(A) permitidos pela norma. Para essa avaliação, foram considerados NPS mais conservadores de LAS e LAF e por isso conclui-se que o Aeromóvel de Porto Alegre cumpre as especificações da norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08 e não apresenta desconforto aos seus passageiros. O estudo descaracterizou relação da influência do ar-condicionado na elevação do NPS quando o veículo está em movimento ou parado como portas abertas, e indica a via como provável fonte principal no aumento de NPS no Aeromóvel de Porto Alegre. Grande parte dos níveis de ruídos também se deve ao sinal sonoro da porta, ao freio e a abertura e fechamento das portas automáticas.

PALAVRAS-CHAVE: Aeromóvel Porto alegre, Automated People Mover (APM), nível de pressão sonora, ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08.

FIABANI, A. **SOUND PRESSURE LEVEL ANALYSIS FOR CONFORT EVALUATION OF PASSENGER IN THE PORTO ALEGRE AEROMÓVEL**. 2018. 16 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

Noise source are permanently present in several types of transportation that we use every day, one of them is Aeromóvel, this coursework focus. The Aeromóvel is an APM model (Automated People Mover), connects the Trensurb train line to Salgado Filho Airport and has become a new alternative of transportation to complement the need for mobility at short distances. This report was measured the sound pressure level (SPL) that passengers are exposed in the model of the Aeromóvel A100. The SPL values found were compared with American Standard ANSI / ASCE / T & DI 21.2-08 values, and the results showed that when the vehicle is moving or stopped with open doors, more than 70% of SPL occurrences were below of 76 dB(A) allowed by the standard, and for the situation where the vehicle is stopped with doors closed, 100% of the SPL occurrences were below of 74 dB(A) allowed by the standard. For this evaluation, it was considered more conservative SPL of LAS and LAF (Slow, A-weighted Sound Level and Fast, A-weighted Sound Level), and therefore it is concluded that the Aeromóvel of Porto Alegre meets the specifications ANSI / ASCE / T & DI 21.2-08 and does not present discomfort for the passengers. This report mischaracterized the relation of the influence of the air conditioning with the values of SPL when the vehicle is in movement or stopped like open doors, and indicates the way like probable main source in the increase of NPS in Aeromóvel of Porto Alegre. Most of the noise levels are also due to the door sound, the brake and the opening and closing of the automatic doors.

KEYWORDS: Porto Alegre Aeromovel, Automated People Mover (APM), sound pressure level, ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.1 - Veículos da Aeromóvel (a) modelo A100 (b) modelo A200.	4
Figura 4.2 - Decibelímetro da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250.....	5
Figura 4.3 – Decibelímetros (a) na extremidade (b) no centro do vagão.	5
Figura 4.4 - Posições dos decibelímetros D1 e D2 conforme (a) layout 1 e (b) layout 2.	6
Figura 4.5 - Trajeto do Aeromóvel. Lado esquerdo superior, Terminal da Trensurb e lado direito inferior, Terminal Aeroporto. (imagem extraída de: https://portoimagem.wordpress.com).	7
Figura 5.1 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 1 no layout 1.....	9
Figura 5.2 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 2 no layout 1.....	9
Figura 5.3 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 1 no layout 2....	10
Figura 5.4 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 2 no layout 2....	11
Figura 5.5 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do decibelímetro D1 com o ar-condicionado com potência reduzida.....	12
Figura 5.6 – Espectro de frequência de LAFmax com ar-condicionado na potência máxima e reduzida.	13
Figura 5.7 - Espectro de frequência de LASmax com ar-condicionado na potência máxima e reduzida.	13

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1 - Nível do ruído no interior do APM, fonte: ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08.	3
Tabela 4.1 - Caracterização das modalidades de transporte metroferroviário de passageiros (Fonte: CNT, 2018).	4
Tabela 5.1 – Faixa de valores de LAFmax e LASmax com o layout 1 dos decibelímetros D1 e D2.	8
Tabela 5.2 - Faixa de valores de LAFmax com o layout 2 dos decibelímetros D1 e D2.....	10
Tabela 5.3 - Faixa de valores de LAFmax e LASmax com o layout 1 e ar-condicionado com potência reduzida do decibelímetro D1.	11

ÍNDICE

Pág.

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
ÍNDICE	viii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	1
2 OBJETIVOS	2
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
3.1 Ruído	2
3.2 Efeito do ruído no corpo humano	2
3.3 norma para análise e medição do nível de pressão sonora.....	3
4 MATERIAIS E MÉTODOS	3
4.1 Modelo do aeromóvel analisado.....	3
4.2 Metodologia e equipamentos	5
4.3 Trajeto.....	6
5 RESULTADOS	7
5.1 Avaliação NPS layout 1	7
5.2 Avaliação NPS layout 2.....	9
5.3 Avaliação NPS layout 1 ar-condicionado potência mínima	11
5.4 Comparativo entre laeq e lafmax.....	13
6 CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
APÊNDICE A	16

1 INTRODUÇÃO

Há uma grande importância, para o presente e futuro do transporte urbano, na utilização de linhas urbanas do tipo APM (*Automated People Mover*), devido a sua flexibilidade com que se integram ao meio urbano. Segundo a caracterização dos transportes ferroviários feita pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), APM é um tipo de sistema ferroviário de transporte automatizado de pessoas em pequena escala. São veículos designados para circuitos fechados de pequena extensão, tais como terminais de aeroportos e parques temáticos, com capacidade para transportar 5000 a 15000 passageiros por sentido por hora e com tempo de viagem entre 60 a 180 segundos. Segundo essa caracterização, o Aeromóvel de Porto Alegre se enquadra como veículo do tipo APM.

Existem várias tecnologias de APM aplicadas em diversos países. A que foi aplicada no Aeromóvel de Porto Alegre é uma tecnologia brasileira que ainda está sendo estudada e desenvolvida e distingue-se dos seus congêneres pelo tipo de propulsão utilizada. Os veículos, sem condutor e não motorizados, são impelidos por propulsão pneumática - ou aerodinâmica. O veículo é apoiado em rodas de aço sobre trilhos, fixados em uma plataforma elevada. Por não ter motor embarcado, tem menos peso próprio e, por conseguinte, um acréscimo de eficiência energética por passageiro transportado.

Apesar de ser custoso inicialmente, esse tipo de tecnologia gera um grande benefício no longo prazo, seja na organização do trânsito, qualidade de transporte, pontualidade, facilidade de utilização, facilidade de automação, além de poder ser caracterizado como um ponto turístico. Uma das grandes vantagens do Aeromóvel de Porto Alegre é a rápida conexão, em torno de 180 segundos, feita entre o Aeroporto Salgado Filho com o sistema de trens da Trensurb, que interliga as cidades da região metropolitana da capital. Mas nada disso seria proveitoso se o sistema utilizado pela Aeromóvel possui-se limitações tecnológicas, que acabassem gerando desconforto a seus passageiros, como vibrações, falta de espaço, lotação, altos níveis de ruídos e calor excessivos.

Rossi & Junior, 2004, afirmam que a exposição sistemática e prolongada a níveis de ruído elevados traz efeitos nocivos ao organismo humano. Um desses prejuízos é a Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR), definida como sendo a alteração irreversível e progressiva, decorrente da lesão das células ciliadas do Órgão de Corti.

Além da Perda Auditiva, já se reconhece hoje que o ruído também é responsável por diversas manifestações patológicas não-auditivas, como tontura, distúrbios gástricos (gastrite e úlcera gastroduodenal), estresse, distúrbios de atenção, do sono, do humor entre outros. (AZEVEDO, 2004).

Para ressaltar a qualidade do equipamento, Bonato, 2017, mostrou que os níveis de vibração em usuários estão dentro dos limites propostos como confortável, mesmo comparando com diversos autores e normas que foram aplicadas em seu estudo.

Torna-se necessário conhecer mais sobre o nível de pressão sonora que o veículo da Aeromóvel submete os seus passageiros, para assim entender quais as medidas podem ser adotadas a fim de reduzir os níveis de ruídos e suas consequências.

1.1 JUSTIFICATIVA

O pequeno trecho do Aeromóvel de Porto Alegre, que faz a conexão metrô-aeroporto, já acumula números expressivos. Desde a abertura ao público em 2013, são 2,8 milhões de passageiros transportados – dos quais 2,5 milhões após o início da operação comercial, em maio de 2014. A média de passageiros transportados por dia útil em julho de 2016 foi de 3,1 mil (TRENURB, 2018a). Em 2017, 940.065 passageiros utilizaram a linha metrô-aeroporto do Aeromóvel, operada pela Trensurb. A média foi de 2.869 usuários por dia útil. No ano anterior, 1.037.066 passageiros haviam utilizado o modal (TRENURB, 2018b).

Foi verificado que não há dados claros e concisos de um estudo do impacto que o nível de pressão sonora (NPS) implica nos passageiros do Aeromóvel de Porto Alegre. O estudo de análise sobre o impacto causado pelo NPS do Aeromóvel sobre os passageiros se torna

necessária visando o conforto da comunidade e até para futuras comparações e melhorias que possam ser atribuída na provável expansão da utilização do Aeromóvel na região metropolitana de Porto Alegre.

2 OBJETIVOS

Medir o nível de pressão sonora que os passageiros estão expostos nos vagões do Aeromóvel de Porto Alegre através do nível de pressão sonora, obtido durante uma viagem de ida e uma viagem de volta dentro do vagão. O nível de pressão sonora será comparado com os parâmetros definidos na ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08 (*Automated People Mover Standards*).

Também, se tentará identificar as principais fontes de ruído, verificando se o ar condicionado do veículo influencia no aumento do NPS.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RUÍDO

Parraga et al., 2005 descrevem ruído sendo um agente contaminante do tipo físico; é um som indesejável e, desta forma, incômodo. É definido como o som ou sobreposição de sons de tal amplitude que pode ocasionar distúrbios ou interferência no processo de comunicação. Quanto à diferença entre som e ruído, sabe-se que o primeiro pode ser quantificado, enquanto que o segundo é considerado um fenômeno subjetivo.

Teles et al., 2007 falam que ruído é considerado todo sinal acústico aperiódico, originado da superposição de vários movimentos de vibração com diferentes frequências, as quais não apresentam relação entre si, de modo subjetivo é considerado toda sensação de desagrado, desconforto e/ou de intolerância decorrente de uma exposição sonora.

3.2 EFEITO DO RUÍDO NO CORPO HUMANO

Segundo Caltrans, 2013, em geral as pessoas são mais sensíveis à faixa de frequência de 1.000 a 8.000 Hz e percebem sons dentro dessa faixa melhor do que sons da mesma amplitude em frequências mais altas ou mais baixas. Para aproximar a resposta do ouvido humano, o circuito de ponderação "A" aproxima-se da resposta de frequência do ouvido jovem médio ao ouvir os sons mais comuns.

A dificuldade de identificar a variação do nível de pressão sonora (NPS) pode colocar em risco a saúde das pessoas que estejam expostas a ambientes ruidosamente insalubres. No mesmo relatório, Caltrans, 2013, explica que a duplicação da energia sonora resulta em um aumento de 3 dB no som. No entanto, dada uma mudança de NPS medida com instrumentação precisa, a percepção humana subjetiva de uma duplicação do volume normalmente será diferente do que é medido. Sob condições controladas em um laboratório acústico, o ouvido humano treinado e saudável é capaz de discernir mudanças de 1 dB nos níveis de som, quando exposto a sinais estáveis de frequências harmônicas ("tom puro") na faixa de frequência de 1.000 Hz a 8.000 Hz. Em ambientes ruidosos, as alterações no nível de pressão sonora de 1 a 2 dB, geralmente, não são perceptíveis. No entanto, é amplamente aceito que as pessoas são capazes de começar a detectar aumentos de nível de som de 3 dB em ambientes ruidosos. Além disso, um aumento de 5 dB é geralmente percebido como um aumento claramente perceptível, e um aumento de 10 dB é geralmente percebido como uma duplicação do volume. Portanto, uma duplicação da energia sonora (por exemplo, dobrando o volume de tráfego em uma rodovia) que resultaria em um aumento de 3 dB no som, geralmente seria percebida como dificilmente detectável.

A perda induzida pelo ruído é considerada uma perda cumulativa, a qual, pela destruição de células sensoriais da cóclea, causa a perda auditiva (MAIA, 1999). Segundo Bento et al., 1998, a perda auditiva, induzida pelo ruído, compromete as frequências altas e poupa as essenciais para o entendimento da fala. Entre os principais fatores que agravam a perda de

audição estão: NPS, tempo de exposição durante a jornada de trabalho, suscetibilidade do indivíduo e efeito cumulativo com duração de dias, semanas, meses ou anos.

3.3 NORMA PARA ANÁLISE E MEDIÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Este estudo do impacto que o NPS, oriundo do Aeromóvel, tem sobre os passageiros e a padronização das medições, será embasado na norma internacional ANSI (American National Standards Institute).

Por falta de normalização brasileira para APM, será utilizada a norma internacional ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, seção 7.7.4 (Noise Levels), para padronizar a forma de medição, instrumentação necessária e para determinação dos níveis máximos de NPS. A norma é exclusiva para veículos do tipo APM e ela cita uma série de especificações para a realização da medição, como: o posicionamento dos microfones em relação ao vagão, altura dos microfones em relação ao piso do veículo, condições de teste, condições do veículo, ambiente livre de passageiros com no máximo 3 pessoas para teste dentro do veículo, entre outras condições que devem ser respeitadas para validar a medição.

Segundo a norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, para a avaliação do nível de pressão sonora, deve ser utilizado o LAF - nível de pressão sonora com ponderação de frequência 'A' em circuito de resposta rápida e LAS - nível de pressão sonora com ponderação de frequência 'A' em circuito de resposta lenta.

Os níveis de ruído permitidos pela referida norma, estão mostrados na Tabela 3.1. Essa tabela relaciona três diferentes níveis de ruído para três diferentes condições que o veículo se encontra. Para a condição que o veículo está parado com portas fechadas, o nível de ruído deve ser limitado a 74 dB(A), para a condição que o veículo em movimento com velocidade menor que 48 km/h, o nível de ruído deve ser limitado a 76 dB(A) e para a condição que o veículo em movimento com velocidade superior a 48 km/h, o nível de ruído deve ser limitado a 79 dB(A).

Tabela 3.1 - Nível do ruído no interior do APM, fonte: ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08.

Condição do veículo	Nível do ruído
Veículo estacionário com portas fechadas	74 dBA
Veículo em movimento abaixo 48 km/h	76 dBA
Veículo em movimento acima de 48 km/h	79 dBA

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MODELO DO AEROMÓVEL ANALISADO

A Trensurb possui dois modelos de veículos da Aeromóvel, modelo A100 (Figura 4.1a) com capacidade para 150 passageiros e modelo A200 (Figura 4.1b) com espaço para transportar até 300 pessoas. Devido a problemas técnicos no veículo modelo A200 e sem previsão de retorno, este trabalho irá se concentrar apenas no modelo em funcionamento, A100.

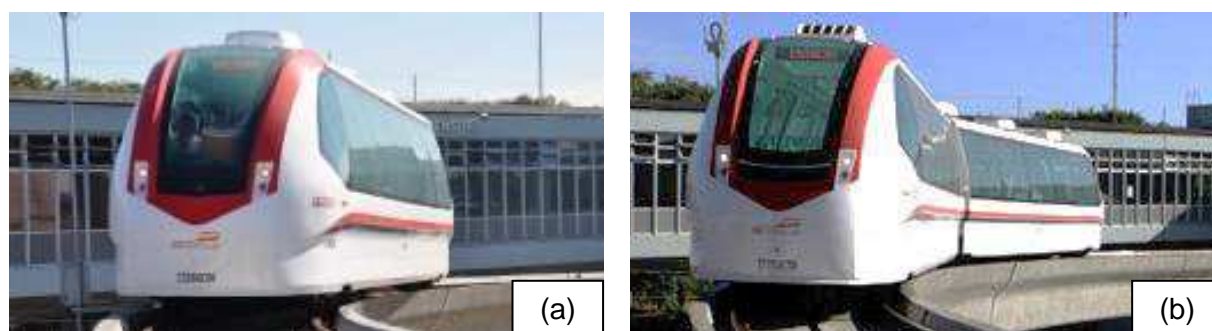


Figura 4.1 - Veículos da Aeromóvel (a) modelo A100 (b) modelo A200.

Visto que existe uma diversidade de modalidades e classificações para os sistemas de transporte de passageiros sobre trilhos, a CNT (Confederação Nacional do Transporte) classifica as modalidades pela capacidade de transporte, pelos níveis de direito de tráfego (segregação em relação ao tráfego de pedestres e veículos), pela inserção no território (zonas centrais ou suburbanas), pelo traçado (subterrâneo, em superfície ou elevado), pelo espaçamento entre estações, velocidade comercial, capacidade dos carros, capacidade da linha e tecnologia de tração. Segundo o órgão encontram-se as modalidades de trens sendo, o trem metropolitano, o metrô, o monotrilho, o veículo leve sobre trilhos (VLT) e o Automated People Mover (APM) que caracteriza o Aeromóvel. Mostra-se na Tabela 4.1, os diferentes tipos classificados pela CNT com as respectivas características.

Veículos do tipo Automated People Mover – APM são encontrados com frequência, segundo a CNT, em terminais de aeroportos e parques temáticos devido a sua característica de ser empregado em circuitos de pequena extensão e frequência de operação alta (60 a 180 segundos), em oferta contínua ou quase contínua com segregação total (sem compartilhamento de via veículos ou pedestres). O Aeromóvel de Porto Alegre se enquadra na capacidade da linha, com tempo de viagem mínimo próximo a 90 segundos e capacidade de 150 passageiros. O Aeromóvel pode chegar a 10.000 passageiros por sentido por hora estando assim dentro da faixa da Tabela 4.1, em que AMP aplicam-se a 5.000 a 15.000 passageiros por sentido por hora.

O veículo possui tecnologia brasileira utilizando propulsão pneumática (ventiladores e motores alocados em casas de máquinas) e não necessitam de condutor a bordo.

Tabela 4.1 - Caracterização das modalidades de transporte metroferroviário de passageiros (Fonte: CNT, 2018).

Modalidade	Trem metropolitano	Metrô	Monotrilho	Veículo leve sobre trilhos – VLT	Automated people mover – APM
Nº de carros por composição	8 a 12	4 a 10	-	1 a 4	1
Capacidade da composição (passageiros)	2.000	720 a 2.500	-	100 a 720	-
Capacidade da linha (passageiros por sentido por hora)	40.000 a 80.000	40.000 a 80.000	20.000 a 48.000	7.000 a 24.000	5.000 a 15.000
Distância média entre estações (m)	1.500 a 2.500	700 a 1.200	500 a 1.000	500 a 800	-
Intervalo entre veículos na hora de pico (headway) (s)	120 a 300	90 a 180	180 a 480	600 a 840	60 a 180

4.2 METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS

A metodologia que este trabalho seguiu, foi dada pela coleta de dados do tipo nível de pressão sonora (NPS) de um carro da Aeromóvel em diversas viagens e diferentes tipos de situações, que puderam ser variadas no veículo, como a mudança da potência do ar-condicionado e mudança na posição dos decibelímetros (layout).

Os dispositivos utilizados para realização dessa mensuração foram dois decibelímetros da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250, de classe 1 conforme a Figura 4.2. Esse tipo de decibelímetro realiza medições de NPS do ambiente e armazena valores em diversas grandezas, como: LAeq, LAFmax, LASmax, LAFmin e LASmin.



Figura 4.2 - Decibelímetro da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250.

Obedecendo a norma ANSI 21.2-0.8, os decibelímetros foram montados sobre tripés e ficaram a 1,5m de altura a partir do nível do piso, dispostos um em cada extremidade do Aeromóvel e posicionados na linha central em relação ao eixo longitudinal do vagão, conforme Figura 4.3a. Durante toda a viagem de ida e volta, foram feitas medições contínuas. Para melhor entender como está distribuído o ruído interno no Aeromóvel quando o veículo está em movimento e para encontrar e as fontes de ruído, após uma viagem de ida e volta foi alterada a posição de um dos decibelímetros para o centro do vagão, região diretamente abaixo do ar-condicionado central, conforme Figura 4.3b. Foram medidos NPS nessas duas situações com o ar-condicionado funcionando plenamente.

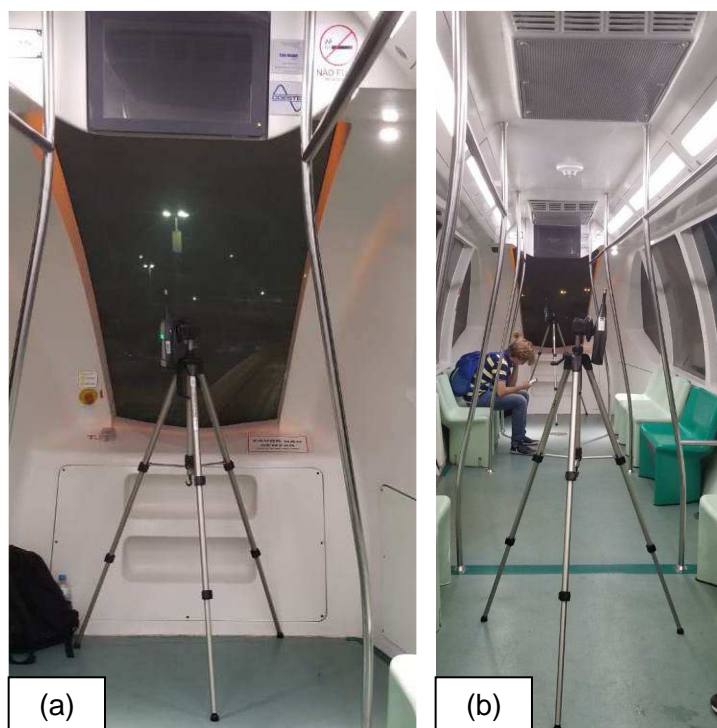


Figura 4.3 – Decibelímetros (a) na extremidade (b) no centro do vagão.

Na Figura 4.4a mostra-se como foi a distribuição dos decibelímetros no layout 1, um em cada extremidade. Na Figura 4.4b mostra-se a posição alterada, com um decibelímetro no centro do vagão e outro na extremidade, sendo esse o layout 2.

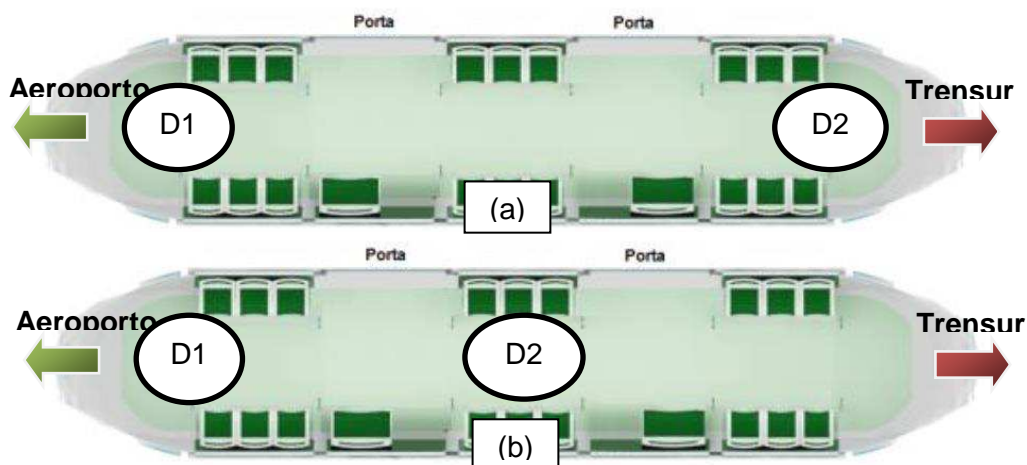


Figura 4.4 - Posições dos decibelímetros D1 e D2 conforme (a) layout 1 e (b) layout 2.

Também foram feitas viagens no layout 1 com o ar-condicionado com potência reduzida, conforme é utilizado em meses mais frios.

Em todas as situações, os decibelímetros foram programados para captar os níveis de pressão sonora ponderados em (A), obtidos de um em um segundo, num espectro de frequência de 16Hz à 16kHz, em campo fechado. O software utilizado para a leitura dos dados captados pelos decibelímetros foi o BZ5503 - Measurement Partner Suite, desenvolvido pela empresa Brüel and Kjaer.

Os valores utilizados na análise de nível de ruído interno, foram fornecidos pelos decibelímetros como LAFmax e LASmax, que são os valores máximos de LAF e LAS registrados pelo decibelímetro dentro do intervalo de 1 segundo. Esses valores foram comparados com os níveis de ruído interno permitidos pela norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08.

Para a realização das medições, conforme a norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08 pede, o ambiente deve estar livre de passageiros com no máximo 3 pessoas para os testes. Para tanto, as medições foram feitas fora do horário comercial, tornando mais fácil o controle do ambiente do veículo, permitindo que três pessoas acompanhassem e auxiliassem na operação dos decibelímetros.

4.3 TRAJETO

A etapa da coleta de dados foi feita durante toda a viagem de ida e volta com medições contínuas. O início de cada medição foi no Terminal da Trensurb, fazendo uma viagem de ida para o Terminal Aeroporto e finalizando com uma viagem de volta para o Terminal da Trensurb. Na Figura 4.5 encontra-se a localização dos terminais e o trajeto do Aeromóvel.

O trajeto de 814 metros, com duas estações de embarque, é percorrido em 2 minutos e 35 segundos, mas depende das condições do controle do veículo de uma estação a outra, pois o mesmo pode sofrer interrupções devido a falha na comunicação do sinal transmitido via ondas de rádio e automaticamente acionar os freios de emergência.



Figura 4.5 - Trajeto do Aeromóvel. Lado esquerdo superior, Terminal da Trensurb e lado direito inferior, Terminal Aeroporto. (imagem extraída de: <https://portoimagem.wordpress.com>).

5 RESULTADOS

Devido ao uso de dois decibelímetros simultaneamente com diferentes layouts e diferentes situações, os resultados serão apresentados em três partes para melhor entendimento. Os valores de NPS das seções 5.1 e 5.2 foram coletados na pior situação, ou seja, com ar-condicionado em plena potência de operação. Já na seção 5.3 o ar-condicionado foi reduzido para a potência mínima, que seria o uso em dias com temperaturas mais amenas.

Layout 1 significa que cada um dos decibelímetros está em uma das extremidades do vagão, layout 2 significa que há um decibelímetro em uma das extremidades e outro no centro do vagão. As medições foram feitas em viagens de ida e volta, partindo da estação Trensurb, indo para a estação Aeroporto e retornando a estação da Trensurb.

O Aeromóvel de Porto Alegre foi projetado para velocidades de no máximo 40 km/h, então os valores de NPS só serão comparados com a norma ANSI nas condições em que o veículo está estacionário com portas fechadas e veículo em movimento abaixo 48 km/h.

5.1 AVALIAÇÃO NPS LAYOUT 1

A Tabela 5.1 apresenta as faixas de NPS, número de ocorrências e a porcentagem (%) para as condições em que o veículo está em movimento abaixo 48 km/h e também quando o veículo está estacionário com portas fechadas. O valor de LAFmax utilizou-se quando o veículo está em movimento, já o LASmax utilizou-se quando o veículo está parado com portas fechadas. Para o veículo ser considerado dentro da norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, os valores de faixa de nível de pressão sonora para LAFmax devem ser menores que 76 dB(A) e para LASmax devem ser menores que 74 dB(A). As mesmas observações são feitas para a Tabela 5.2 - Faixa de valores de LAFmax com o layout 2 dos decibelímetros D1 e D2 e para a Tabela 5.3 - Faixa de valores de LAFmax e LASmax com o layout 1 e ar-condicionado com potência reduzida do decibelímetro D1.

Os valores da Tabela 5.1 foram retirados dos decibelímetros D1 e D2 no layout 1. Estes mesmos dados são apresentados como gráficos na Figura 5.1 e Figura 5.2

Tabela 5.1 – Faixa de valores de LAF_{max} e LAS_{max} com o layout 1 dos decibelímetros D1 e D2.

D1 - LAYOUT 1			D2 - LAYOUT 1		
Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)	Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)
LAF _{max} ≤76	250	70,2	LAF _{max} ≤76	248	72,5
LAF _{max} >76	106	29,8	LAF _{max} >76	94	27,5
Total	356	100,0	Total	342	100,0
LAS _{max} ≤74	75	100,0	LAS _{max} ≤74	70	100,0
LAS _{max} >74	0	0,0	LAS _{max} >74	0	0,0
Total	75	100,0	Total	70	100,0

Após a análise dos resultados, verificou-se que o nível de pressão sonora LAF_{max}, em sua maioria, mais de 70%, ficaram abaixo do valor permissível pela norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, de 76 dB(A). Já para o LAS_{max}, não houveram ocorrências de valores acima de 74 dB(A), todos os valores estão conforme a norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08. A mesma observação pode ser feita tanto para a extremidade que aponta para o Terminal da Trensurb, quanto para a extremidade que aponta para o Terminal Aeroporto, como indica os valores de D1 e D2 na Tabela 5.1.

Os gráficos da Figura 5.1 e Figura 5.2, mostram duas situações: uma é o LAS_{max}, em que se analisa o veículo parado com portas fechadas e outra é o LAF_{max}, em que se analisa o veículo em movimento abaixo de 48 km/h. A mesma avaliação é feita para o gráfico da Figura 5.5 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do decibelímetro D1 com o ar-condicionado com potência reduzida.

Nos gráficos da Figura 5.1 e Figura 5.2, percebe-se claramente o aumento de NPS no trecho reto da via, momento que o veículo está velocidade máxima de 40 km/h, ocorrendo tanto na ida quanto na volta. Na chegada e partida da estação Trensurb, ocorre uma redução na velocidade devido a uma curva fechada, ocorrendo assim a redução do NPS. Também, percebe-se a existência de 4 ocorrências de picos isolados de NPS ocasionados por: I - sinal sonoro fechamento de portas, II - portas abrindo, III - portas fechando ou IV – frenagem.

Nos dois instantes de tempo identificados na Figura 5.1 (instante LAF ar pleno e instante LAS ar pleno) serão avaliados o espectro de frequência na seção 5.3. O primeiro instante de tempo (instante LAF ar pleno) corresponde ao pico de NPS quando o veículo está em movimento abaixo de 48 km/h, já o segundo instante de tempo (instante LAS ar pleno) corresponde ao veículo parado com portas fechadas. Ambos com o ar-condicionado em plena operação.

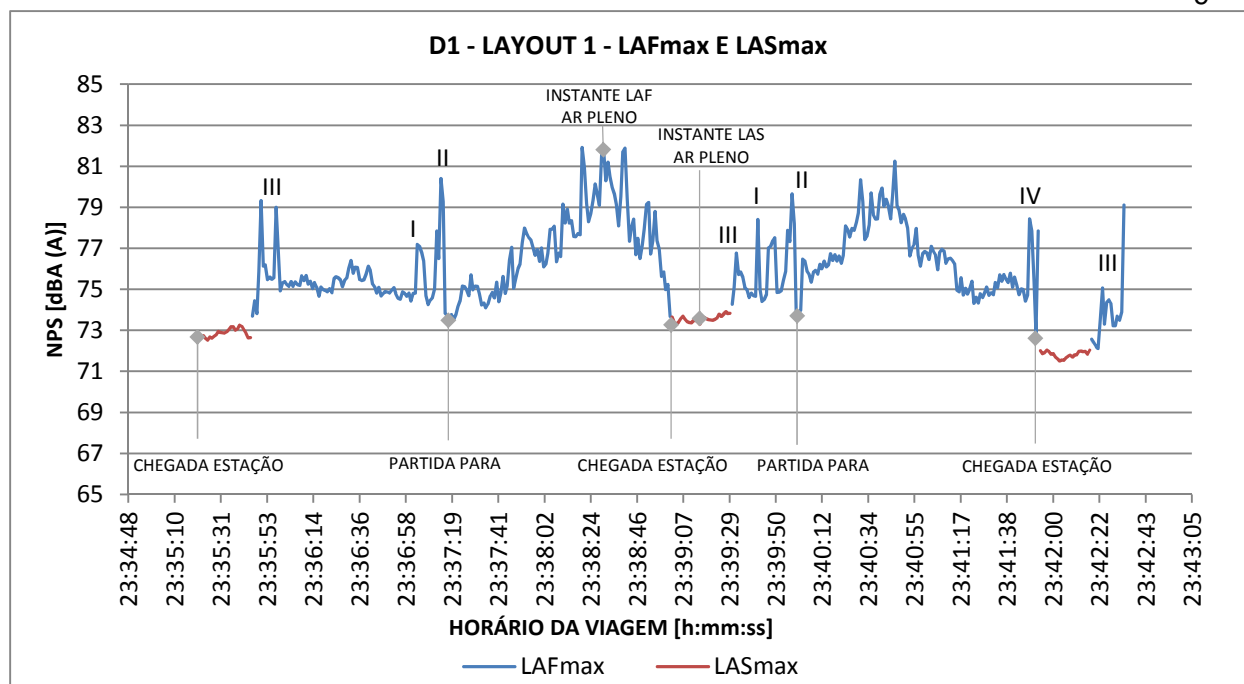


Figura 5.1 – Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 1 no layout 1.

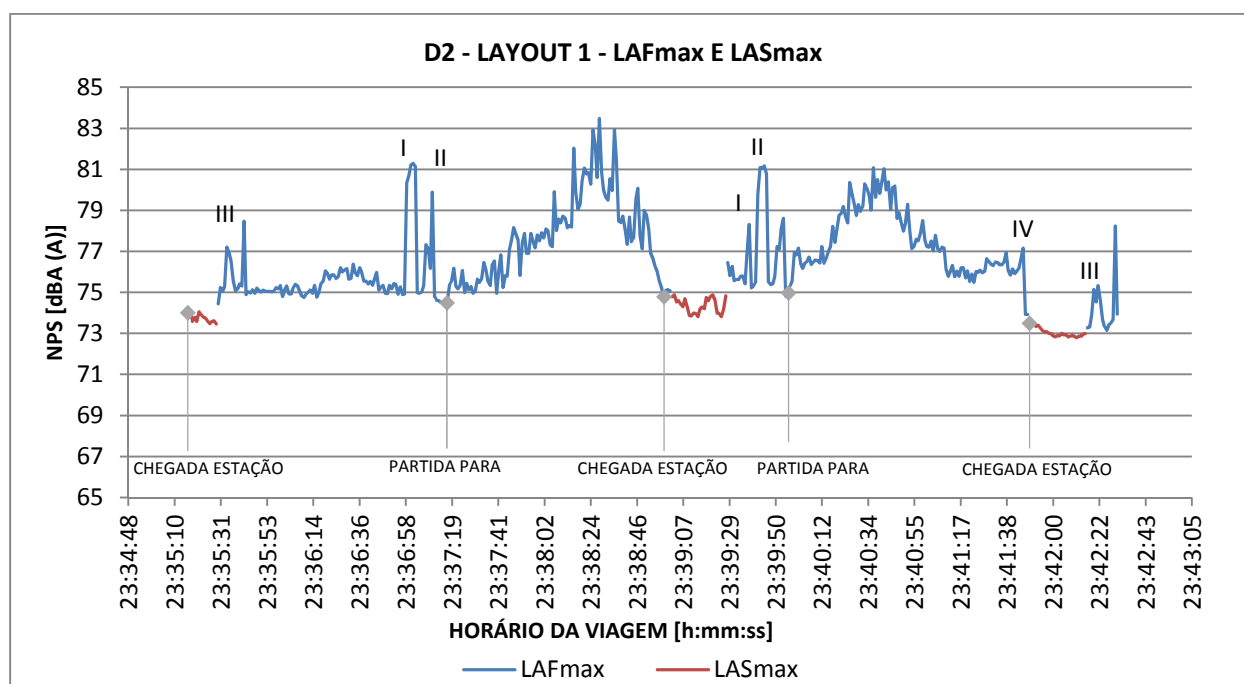


Figura 5.2 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 2 no layout 1.

5.2 AVALIAÇÃO NPS LAYOUT 2

Para melhor entender como está distribuído o ruído interno no Aeromóvel quando o veículo está em movimento, foi analisada a configuração do layout 2, com o decibelímetro D1 em uma extremidade e o decibelímetro D2 no centro do vagão.

Como não foi identificada nenhuma anomalia devido ao sentido que o Aeromóvel percorre e também não foram constatados valores acima de 74 dB(A), quando o veículo está

parado com portas fechadas, foi feita uma análise simplificada avaliando apenas quando o veículo está em movimento, partindo da Estação Trensurb em direção à estação Aeroporto. A Tabela 5.2 mostra que existe um aumento de nível de pressão sonora LAFmax no centro do vagão do Aeromóvel com uma diferença de 10% maior para o decibelímetro D2 quando comparado com o decibelímetro D1. Isso devido ao decibelímetro D2 ter ficado exatamente abaixo do ar-condicionado central, assim sendo influenciado pelo ruído gerado pelo mesmo.

Tabela 5.2 - Faixa de valores de LAFmax com o layout 2 dos decibelímetros D1 e D2.

D1 - LAYOUT 2			D2 - LAYOUT 2		
Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)	Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)
LAFmax ≤76	115	63,2	LAFmax ≤76	97	53,3
LAFmax >76	67	36,8	LAFmax >76	85	46,7
Total	182	100,0	Total	182	100,0

Como era de se esperar, o gráfico da Figura 5.3 e Figura 5.4 apresentam o mesmo padrão de comportamento visto na primeira avaliação dos gráficos da Figura 5.1 e Figura 5.2. Com um aumento do NPS no meio do trajeto devido à velocidade e uma redução do NPS no trecho da curva fechada que fica próxima a estação Trensurb. Também, percebe-se a existência dos picos isolados de NPS ocasionados por: I - sinal sonoro fechamento de portas, II - portas abrindo, III - portas fechando.

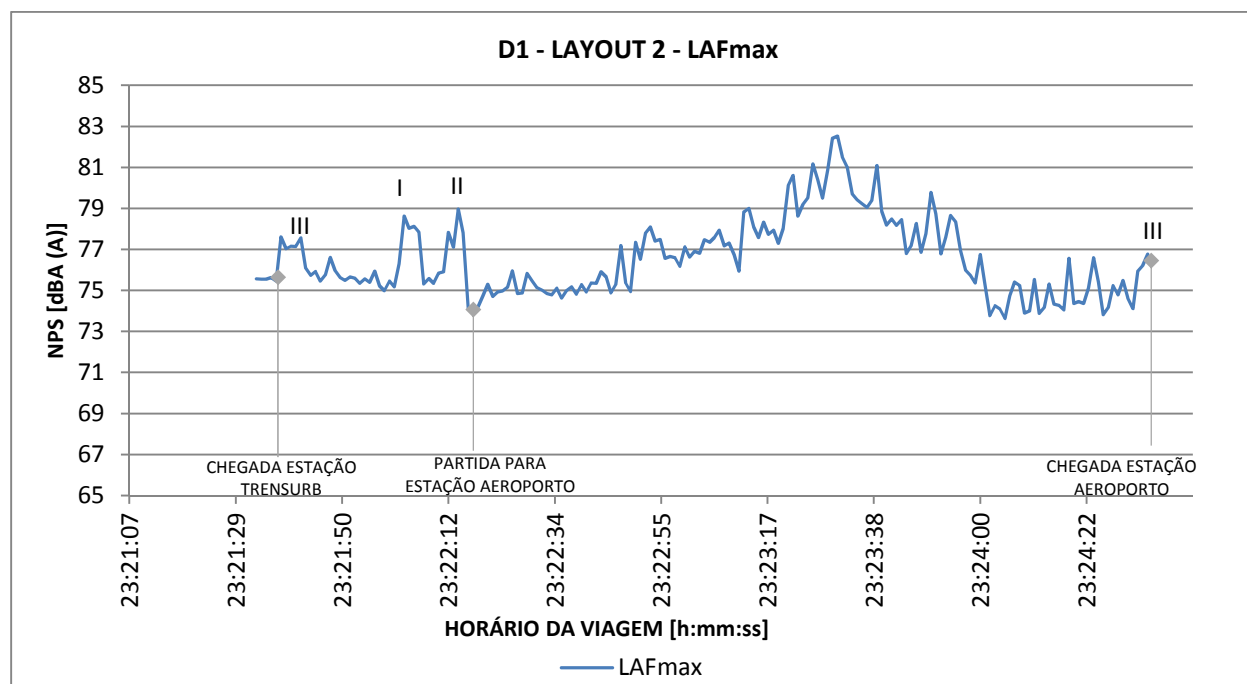


Figura 5.3 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 1 no layout 2.

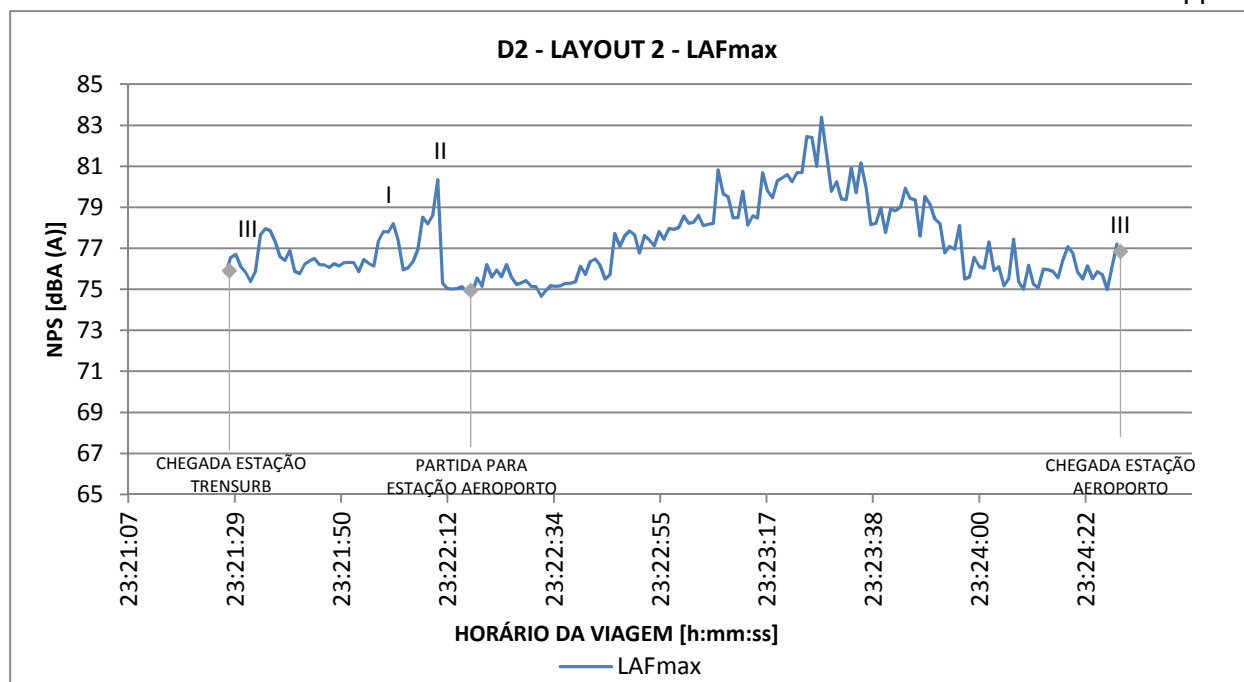


Figura 5.4 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do Decibelímetro 2 no layout 2.

5.3 AVALIAÇÃO NPS LAYOUT 1 AR-CONDICIONADO POTÊNCIA MÍNIMA

A fim de identificar a causa do ruído interno no Aeromóvel, se fez uma nova avaliação com o layout 1, porém, com a potência do ar-condicionado reduzida. Visto que não há diferenças comparando as extremidades do veículo da Aeromóvel frente a níveis de ruídos, a avaliação será simplificada com a análise apenas do decibelímetro D1, que ficou estático durante toda a seção de medições de NPS.

A Tabela 5.3 mostra que existe uma redução nos valores de LAFmax quando comparados os valores do decibelímetro 1 que estão na Tabela 5.1. Na situação em que a potência do ar-condicionado está em plena operação, tem-se uma porcentagem de 29,8% em que os valores de LAFmax ficaram acima de 76 dB(A), quando a potência do ar-condicionado é reduzida, esses valores caem para 13,0%.

Tabela 5.3 - Faixa de valores de LAFmax e LASmax com o layout 1 e ar-condicionado com potência reduzida do decibelímetro D1.

D1 - LAYOUT 1 AR-CONDICIONADO REDUZIDO		
Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)
LAFmax ≤76	340	87,0
LAFmax >76	51	13,0
Total	391	100,0
LASmax ≤74	52	100,0
LASmax >74	0	0,0
Total	52	100,0

No gráfico da Figura 5.5, é possível ver que os valores mínimos de LASmax chegam a ser abaixo de 67 dB(A) e valores máximos de LAFmax mantém picos a 82 dB(A). Também, percebe-se a existência das 4 ocorrências de picos isolados de NPS ocasionados por: I - sinal sonoro fechamento de portas, II - portas abrindo, III - portas fechando ou IV – frenagem.

Da mesma forma que na seção 5.1, foram identificados dois instantes de tempo na Figura 5.5, porém dessa vez como (instante LAF ar reduzido e instante LAS ar reduzido). O primeiro instante de tempo (instante LAF ar reduzido) corresponde ao pico de NPS quando o veículo está em movimento abaixo de 48 km/h, já o segundo instante de tempo (instante LAS ar reduzido) corresponde ao veículo parado com portas fechadas. Ambos com o ar-condicionado em operação reduzida.

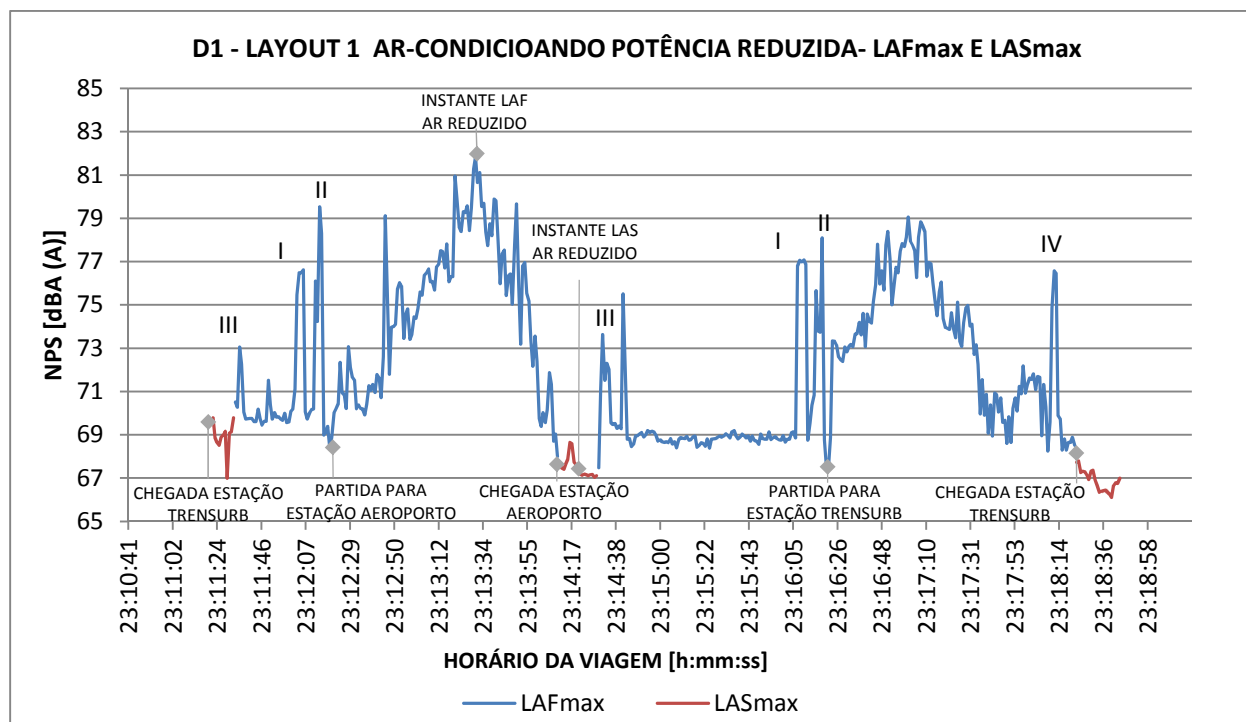


Figura 5.5 - Gráfico do comportamento dos NPS por tempo do decibelímetro D1 com o ar-condicionado com potência reduzida.

A Figura 5.6 e a Figura 5.7 mostram o espectro de frequência que compara os valores de NPS em diferentes faixas de frequência de um instante com o ar condicionado em plena operação versus o ar condicionado em operação mínima. Esses instantes foram indicados como dois instantes de tempo de LAF (Figura 5.1 e Fig 5.5) e dois instantes de tempo de LAS (Figura 5.1 e Fig 5.5).

Na Figura 5.6 é identificado que existe uma pequena influência benéfica nos valores de LAFmax, mas não identifica que o ar-condicionado é a principal fonte de ruído com o veículo em movimento.

Da mesma forma, a Figura 5.7 mostra uma influência do ar-condicionado nos dados de NPS com o veículo parado, porém, dessa vez existe uma maior percepção no NPS em todas as faixas de frequências. Entretanto, os valores de LASmax já estavam dentro do exigido pela norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, que era de no máximo 74 dB(A).

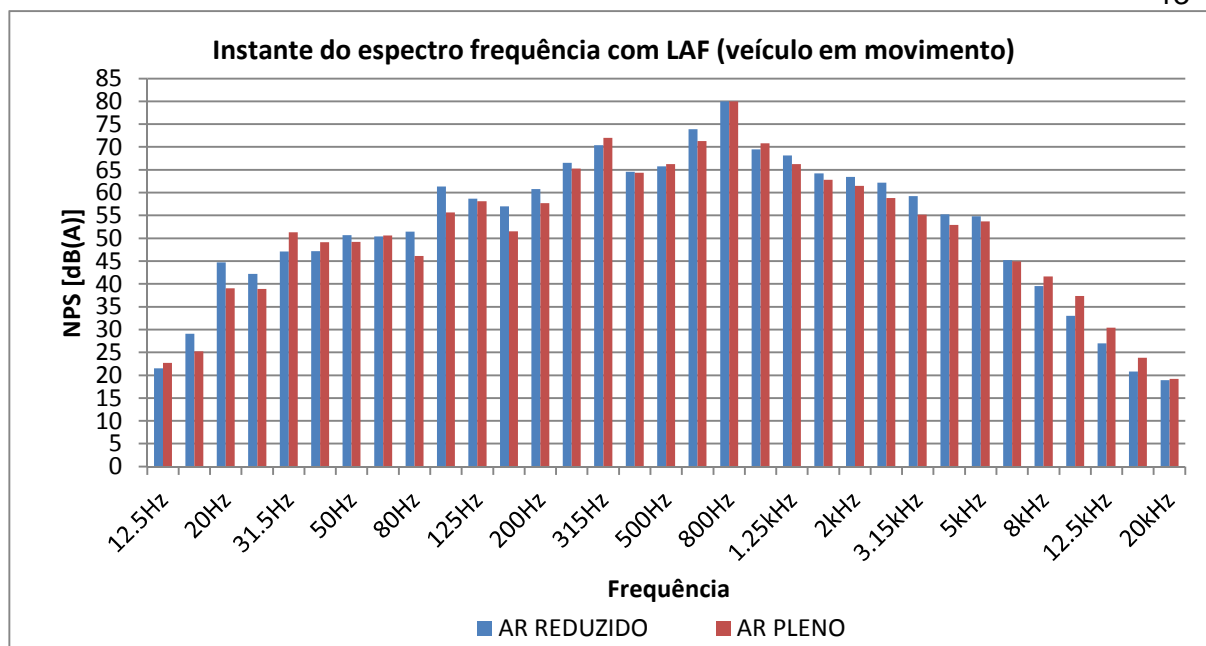


Figura 5.6 – Espectro de frequência de LAFmax com ar-condicionado na potência máxima e reduzida.

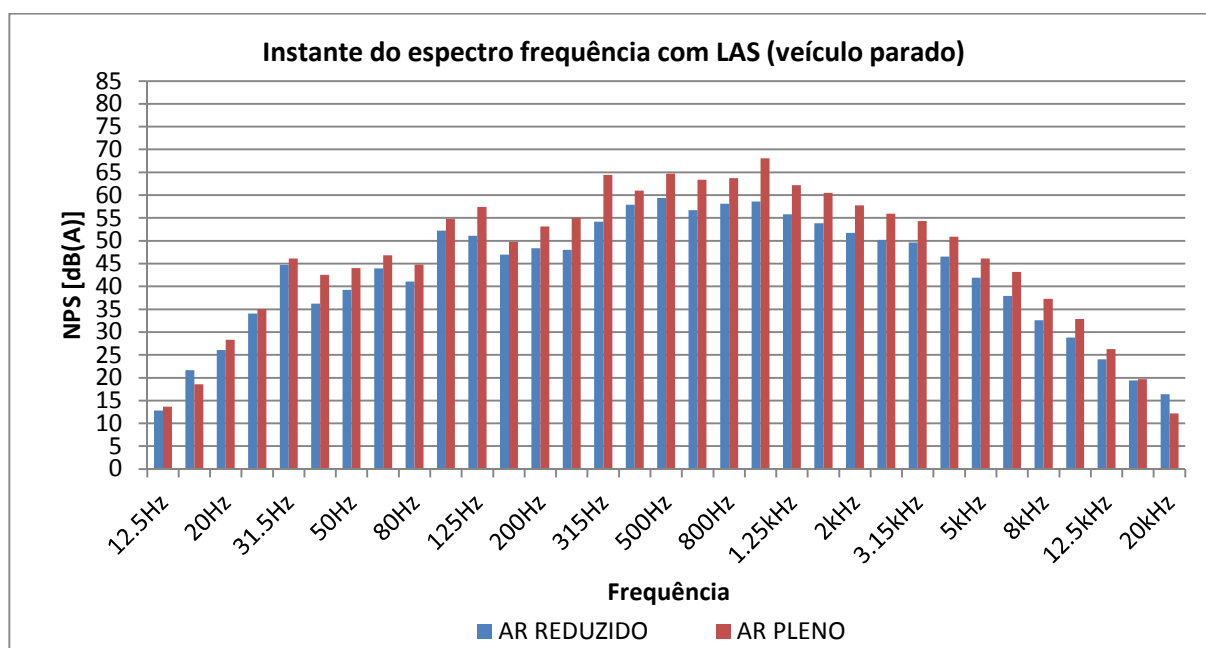


Figura 5.7 - Espectro de frequência de LASmax com ar-condicionado na potência máxima e reduzida.

5.4 COMPARATIVO ENTRE LAeq E LAFmax

Em grande parte dos estudos de avaliações de NPS, são utilizados valores de nível de pressão sonora equivalente (LAeq). STRAUCH, 2016, faz uma análise de ruído interno para avaliação de conforto dos passageiros do Trensurb e define o LAeq como o nível de pressão sonora antes de se realizar a média dos NPS existentes no ambiente. LAeq representa o nível de um som contínuo (estacionário) que, em um intervalo de tempo específico, tem a mesma energia sonora do som em estudo, cujo nível varia com o tempo (ISO 1996/1, 1982).

Pode-se verificar no Apêndice A, na Figura A. 1 e Figura A. 2, que todos os valores de LAeq adquiridos em uma das viagens são menores que os valores de LAFmax. Os valores de NPS em LAeq acima de 76 dB(A), ocorrerem apenas em 10% dos valores medidos, enquanto os valores acima de 76 dB(A), quando avaliados em relação a LAFmax, chegam a 36,8% das ocorrências.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado e apresentado o estudo do nível de pressão sonora para avaliação do conforto dos passageiros no Aeromóvel de Porto Alegre, modelo A100.

O estudo encontrou pouca relação da influencia do ar-condicionado com os valores de NPS quando o veículo está em movimento ou parado com portas abertas. A maior influencia no acréscimo de NPS vêm dos ruídos de situações da via quando o veículo alcança altas velocidades, do sinal sonoro da porta, do freio e da abertura e fechamento das portas automáticas.

Devido a influencia do ar-condicionado central, as extremidades do Aeromóvel mostraram um índice de NPS menor que a região central, portanto as extremidades são os lugares mais agradáveis para percorrer o pequeno trajeto que o Aeromóvel realiza.

Na pior situação, com o ar-condicionado em plena operação, pode-se afirmar que mais de 70% das ocorrências do NPS quando o veículo está em movimento ou parado como portas abertas, ficaram abaixo de 76 dB(A). Para a situação em que o veículo está parado com portas fechadas, 100% das ocorrências do NPS ficaram abaixo de 74 dB(A).

A análise de NPS, utilizando os valores de LAFmax e LASmax, neste trabalho foi bastante conservadora quando comparado com os valores de LAeq. Por isso, conclui-se que o Aeromóvel cumpre as especificações da norma ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08 e não apresenta desconforto aos seus passageiros.

Visto que ainda há uma melhora a ser feita no sistema da Aeromóvel, para reduzir os valores de NPS quando o veículo está em movimento, os valores poderiam ser mitigados utilizando um tipo mais absorvente de fixação da via, absorvendo assim as vibrações do veículo quando em movimento e reduzindo o nível de ruído interno. Outra possível melhora, visto que o veículo tem um acabamento simples em fibra de vidro e a reverberação pode influenciar negativamente nos resultados, seria a utilização de materiais absorventes sonoros em partes das paredes do veículo.

Trabalhos futuros poderão avaliar outras grandezas relativas ao conforto geral dos passageiros como térmico e ergonômico para ambos os veículos A100 e A200. Também será interessante um estudo mais aprofundado da relação que a via permanente têm com a emissão de ruídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/ASCE/T&DI 21.2-08, “Automated People Mover Standards”. Virginia: ASCE 2008.

ANSI S1.4: 1983 (r2006), “Specification for Sound Level Meters”. Nova Iorque: ANSI 2006.

AZEVEDO, A. P. M. de. “Efeito de produtos químicos e ruído na gênese da perda auditiva ocupacional.” 2004. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). FIOCRUZ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://teses.cict.fiocruz.br> Acesso em 17/10/18.

BENTO, Ricardo Ferreira et al. “Tratado de Otologia.” São Paulo, Brasil: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.

BONATO, A. G., **“Avaliação dos níveis de vibração em usuários de veículo leve sobre trilhos em porto alegre”**, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2017.

CALTRANS. 2013. **“Technical Noise Supplement.”** September. Sacramento, CA: Environmental Program, Noise, Air Quality, and Hazardous Waste Management Office. Sacramento, CA. Disponível em: <http://www.dot.ca.gov>. Acesso em 22/10/18.

CNT (Confederação Nacional do Transporte). **“Transporte Metroviário de Passageiros”**. 2018. Disponível em: <http://cms.cnt.org.br>, Acessado em 18/10/18.

GERGES, S.N.Y. **“Ruído: fundamentos e controle”**. 2ª ed. Florianópolis: NR, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996/1: **Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures**, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.

MAIA, Paulo Alves. **“O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional.”** Campinas: 1999. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br>. Acesso em 22/10/18.

PARRAGA V., Maria R. e Garcia T. Z.. **“El ruido y el diseño de um ambiente acústico.”** 2005 vol.8, no.2. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe>. Acessado em de 19/10/18.

ROSSI, M. M.; Junior, M. F. **“O Impacto do Ruído Urbano Sobre a Audição de Operadores de Tráfego.”** Rev. Bras. Med. Trab., Belo Horizonte, abr-jun 2004.

SEGRE, M., FERRAZ, F. **“O conceito de saúde. Revista de Saúde Pública”**, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org>. Acesso em 22/10/18.

TELES R. M., Medeiros M. P. H. de. **“Perfil audiométrico de trabalhadores do distrito industrial de Maracanaú - CE.”** Rev. soc. bras. fonoaudiol. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acessado em de 19/10/18.

STRAUCH, R. G., **“Análise de ruído interno para avaliação de conforto os 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.

TRENSURB, **“Três anos de aeromóvel e quase três milhões de passageiros”**, Disponível em: <http://www.trensurb.gov.br>. Acessado em 15/09/2018a.

TRENSURB, **“2017 na TRENSURB: 55 milhões de usuários transportados”**, Disponível em: <http://www.trensurb.gov.br>. Acessado em 15/09/2018b.

STRAUCH, R. G., **“Análise de ruído interno para avaliação de conforto os 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.

APÊNDICE A

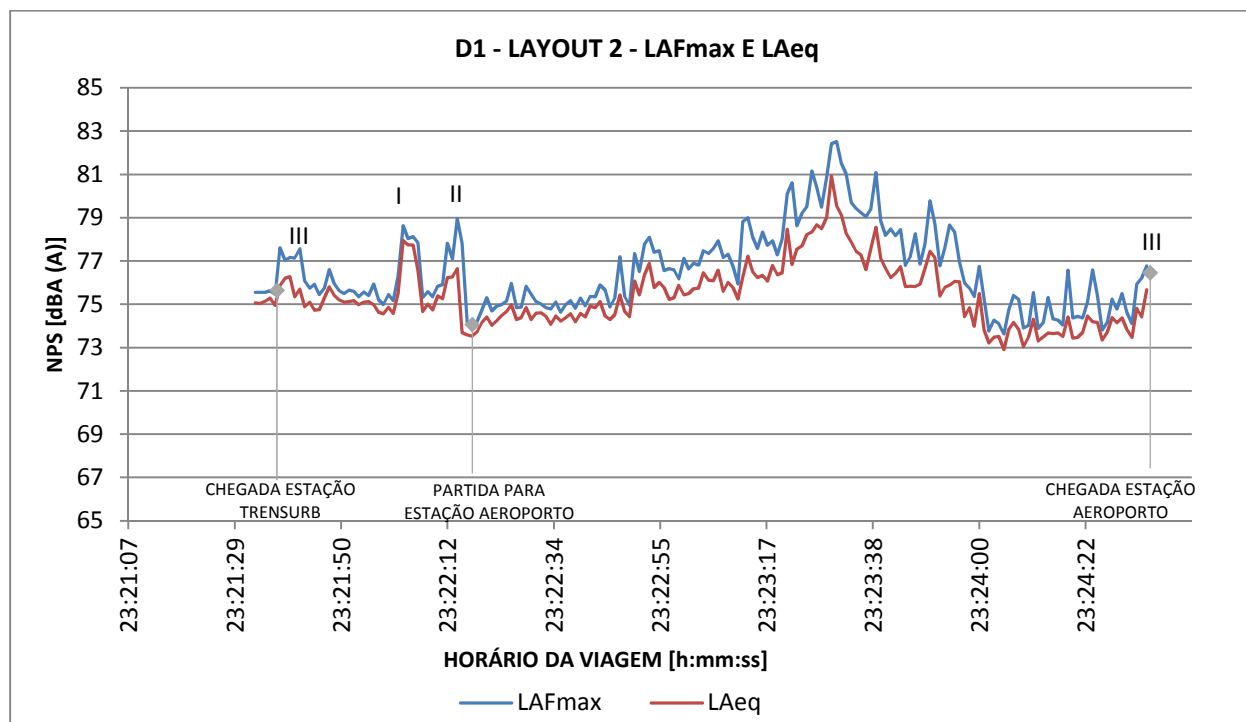


Figura A. 1 - Gráfico do comportamento do LAFmax e LAeq por tempo do Decibelímetro 1 no layout 2.

D1 - LAYOUT 2		
Faixa de NPS	Ocorrências	Porcentagem (%)
LAFmax <76	115	63,2
LAFmax >76	67	36,8
Total	182	100,0
LAeq <76	164	90,1
LAeq >76	18	9,9
Total	182	100,0

Figura A. 2 - Faixa de valores do LAFmax e LAeq por tempo do Decibelímetro 1 no layout 2