

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DO AEROPORTO
SALGADO FILHO DURANTE OPERAÇÕES DE DECOLAGEM E POUSO

por

Bruna Günther Gramacho

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, dezembro de 2019

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Günther Gramacho, Bruna

Avaliação dos níveis de pressão sonora no entorno do aeroporto salgado Filho durante operações de decolagem e pouso. / Bruna Günther Gramacho. -- 2019. 23 f.

Orientadora: Leticia Fleck Fadel Miguel.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. nível de pressão sonora. 2. conforto acústico. 3. NBR12314. 4. NBR10151. 5. ruído aeronáutico. I. Fleck Fadel Miguel, Leticia, orient. II. Título.

Bruna Günther Gramacho

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DO AEROPORTO
SALGADO FILHO DURANTE OPERAÇÕES DE DECOLAGEM E POUSO

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
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mario Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof^a. Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof^a. Letícia Fleck Fadel Miguel

Prof. Edson Aseka

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, 16 dezembro de 2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Adriane e Ramiro, por nunca terem me impedido de sonhar e me mostrarem que é possível com muito esforço e dedicação.

A meus avós, Carlos e Jussara por todos os ensinamentos e por me ensinarem que sem educação, estudo e esforço não existem conquistas.

Aos meus professores ao longo de toda a graduação, por todo apoio e ensinamentos que compartilharam comigo durante ao longo destes anos.

A todos os meus amigos, futuros colegas de profissão, que me auxiliaram em tantas disciplinas e que estiveram comigo nos momentos bons e ruins. Nós fizemos isto juntos. Obrigada!

EPÍGRAFE

Por muitas meninas que enfrentam inúmeros desafios para simplesmente ir à escola, que arriscam a própria vida e sua liberdade, sob a pena de serem rejeitadas por suas famílias e comunidade. É importante lembrar a essas garotas o quão valiosas elas são.

Michele Obama

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – 2019

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA NO ENTORNO DO
AEROPORTO SALGADO FILHO DURANTE OPERAÇÕES DE DECOLAGEM E
POUSO

Günther Gramacho, Bruna
brunagunther@gmail.com

Resumo. *O ruído causado por aeronaves em cidades como Porto Alegre afeta todos aqueles que frequentam regiões a seu entorno. A fim de entender como este ruído é percebido por este público uma análise da pressão sonora e do conforto acústico foi realizada em quatro pontos a diferentes distâncias da pista de decolagem e pouso do Aeroporto Salgado Filho. Os locais escolhidos para medição foram: Boulevard Laçador, sala de aula da Escola de Aviação Flight, área externa da escola e área externa do simulador de voo da escola. Todos estes pontos localizam-se a uma distância inferior a 1 km da cabeceira da pista. O local medido mais próximo da cabeceira da pista foi o Boulevard Laçador, este obteve os níveis de pressão sonora acima do recomendado pela norma, NBR10151 - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (ABNT, 2000), em todos os casos de decolagem e pouso. Um estudo comparativo no final deste trabalho mostra que a diferença entre o ruído de fundo e o ruído no procedimento de pouso medido deste local pode chegar a ter 23,5 dB(A) de diferença. Os demais locais onde a medição foi realizada apresentaram resultados inferiores e foram comparados as normas, NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997), áreas internas, e NBR10151 - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (ABNT, 2000), áreas externas.*

Palavras-chave: *nível de pressão sonora, conforto acústico, NBR12314, NBR10151.*

Abstract. *Aircraft noise in cities such as Porto Alegre affects all those who frequent regions around them. In order to understand how this noise is perceived by this audience an analysis of sound pressure and acoustic comfort was performed at four points at different distances from the Salgado Filho Airport airstrip. The locations chosen for measurement were: Boulevard Laçador, Flight Aviation School classroom, the school's outdoor area, and the school's flight simulator outdoor area. All these points are located less than 1 km from the runway head. The nearest measured point at the runway head was Boulevard Laçador, which obtained sound pressure levels above the recommended NBR10151 Measurement and evaluation of sound pressure levels in inhabited areas (ABNT, 2000) in all cases of takeoff and landing. A comparative study at the end of this paper shows that the difference between the background noise and the noise measured by a landing procedure of this site can be up to 23.5 dB (A) difference. The other places where the measurement was performed presented lower results and they were compared to the standards, NBR12314 - Noise criteria for indoor spaces in buildings subjected to aeronautical noise (ABNT, 1997) and NBR10151 Measurement and evaluation of sound pressure levels in inhabited areas (ABNT, 2000).*

Keywords: *sound pressure level, acoustic comfort, NBR12314, NBR10151.*

1. INTRODUÇÃO

MOTIVAÇÃO

O conforto acústico em espaços urbanos é um fator de extrema importância, tanto para aqueles que circulam esporadicamente pelo ambiente quanto para os que trabalham ou habitam em tais lugares. Um destes ambientes que envolve diretamente conforto e nível de ruído ao bem-estar das pessoas é a região no entorno de aeroportos. Não somente o aeroporto em si é afetado pelo ruído das aeronaves que operam no lugar, mas também toda a região que fica ao seu redor: residências, empresas e áreas de lazer.

Como principal via de acesso aéreo no Rio Grande do Sul, o aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre recebe anualmente mais de oito milhões passageiros e este número só tende a crescer. Com a atual reforma do aeroporto, realizada em 2019, e com o projeto de aumento da pista principal do aeroporto, prevista para 2021 (MELLO, 2019), este poderá receber aeronaves ainda maiores, mais pesadas e que produzem um ruído ainda mais elevado. Além disso, ele fica localizado na zona norte da cidade, região habitada e que sofre constantemente com o ruído gerado pelas decolagens e pousos.

O impasse de conciliar conforto acústico na região com o crescimento do aeroporto entende-se como principal motivação para que este estudo fosse realizado, visando analisar diferentes pontos no entorno do aeroporto e como cada um deles é afetado durante estas operações.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um estudo realizado por Luciano Nabinger, em 2005, a respeito das medições de ruído aeronáutico dentro do plano específico de zoneamento de ruído constatou que os níveis diários de exposição acústica já não atendiam aos níveis recomendados pela NBR10151- Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (ABNT, 2000) para a classificação “Níveis de conforto na comunidade”. Os níveis de pressão sonora coletados apresentaram 14,6 dB(A) acima do requerido pela norma. Outro aspecto relevante é a diferença entre o ruído de fundo calculado (LAeq) e a pressão sonora equivalente dos eventos de pouso e decolagem, chegando a apresentar uma variação de 12,7 dB(A). Na época das medições foi calculado o fluxo médio de aeronaves na faixa de 79 operações diárias, sendo 58% destas provenientes da aviação comercial regular de passageiros. Por fim, ele verificou que o equipamento mais ruidoso para a operação de decolagem que operava no Salgado Filho era o Fokker 100, pois apresentou os maiores resultados para os seguintes parâmetros: SEL, LMáx e Leq. Atualmente, este equipamento não é mais operado por nenhuma das cias aéreas brasileiras. Já para as operações de pouso os equipamentos classificados como mais ruidosos foram: Airbus A320, F100 e F27; hoje apenas o Airbus A320 opera no aeroporto (NABINGER, 2005).

Outro estudo realizado a respeito do ruído em regiões no entorno do aeroporto feito por Antonio Carlos Dinato, em 2011, no Aeroporto Estadual de Ribeirão Preto, observou que a maior incidência de ruído em aeródromos ocorre na região próxima às cabeceiras das pistas, podendo atingir valores próximos a 90 dB(A), como foi o caso medido para um Airbus A320. Além disso, fatores como alteração do vento e altas temperaturas podem auxiliar na propagação do ruído. Como medidas mitigadores Dinato (2011) mencionou a possibilidade de utilizar com maior frequência a cabeceira oposta da pista, visto que os registros dos ventos são baixos, permitindo assim sua utilização. Outra sugestão mencionada por ele é a inclusão do direcionamento de crescimento dos bairros no entorno do aeroporto no plano diretor da cidade, buscando evitar futuros transtornos (DINATO, 2011).

OBJETIVO PRINCIPAL

O presente trabalho tem o intuito de analisar e apresentar comparações a respeito do conforto acústico em áreas que circundam o aeroporto Salgado Filho. Através da medição dos níveis de pressão sonora nestes pontos serão analisadas as condições de conforto acústico do ambiente a título de comparação com as normas nacionais que tratam do assunto, NBR10151- Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (ABNT, 2000) e NBR12314 - Critérios de ruído para

recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997). Desta forma, este trabalho visa responder a seguinte pergunta: como o ruído aeronáutico é percebido por aqueles que habitam ou frequentam as regiões no entorno do aeroporto Salgado Filho?

2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1 Nível de pressão sonora (NPS)

O nível de pressão sonora é um valor dado em escala logarítmica que representa a sensação do ouvido frente a um som emitido (MIGUEL; TAMAGNA, 2007). Desta forma, o NPS pode ser entendido como a pressão causada pela onda sonora (SCHERER OTT; RAGGIO QUINTAS, 2019), este pode ser calculada através da Equação (1).

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

2.2 Nível de pressão sonora equivalente

É definido como o nível que representa a quantidade de energia presente no nível sonoro flutuante medido, é utilizado em casos onde os níveis sonoros são variáveis. Nestas circunstâncias, deve-se estabelecer uma faixa de amostragem e, com esta, determinar curtos intervalos de tempo, para que se possa calcular o nível equivalente de pressão sonora contínua – Leq. Ele também pode ser entendido como o nível constante que possui a mesma quantidade de energia que o conjunto de níveis variáveis da fonte sonora que deseja medir (NABINGER, 2005). O cálculo do nível de pressão sonora equivalente pode ser realizado através da Equação (2), retirado da norma NBR 11415 - Ruído Aeronáutico (ABNT, 1990).

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2)$$

2.3 Ruído Aeroportuário

É o ruído causado pelas aeronaves durante suas operações de taxi, decolagem e pouso. Numa aeronave a principal fonte emissora de ruído são os motores que a compõem. Para o procedimento de decolagem o ruído mais elevado é causado pelo jato de ar que deixa a turbina. Para o procedimento de pouso o ruído é principalmente produzido pelas partes móveis da aeronave, sendo estas o compressor, o *fan* e a turbina (PINTO ALVES, 2018).

Para as medições destes fenômenos os principais parâmetros que influenciam nos resultados são: tipo de aeronave, condições meteorológicas do local, sentido de aproximação de decolagem ou pouso, distância do medidor ao receptor e local de medição, ou seja, se é uma área interna ou externa.

2.4 Ruído de Fundo

É considerado o ruído provocado pelas demais fontes coletadas no local, excluindo o ruído emitido pela fonte a ser analisada, NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000). Este pode ser calculado através da equação 1, considerando como intervalo de medição o período que não houve ruído proveniente da fonte a ser estudada. Outra forma de indicar o ruído de fundo é através do L_{90} , nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo das medições, do período total que a medição foi realizada (GERGES, 1997).

2.5 Normas usadas para avaliação

A norma utilizada para a avaliação dos níveis de pressão sonora em recintos internos foi a NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997). Esta norma estabelece as condições de medições para ambientes internos,

especificando os valores para conforto e o limite superior aceitável conforme a função do espaço em análise. Por esta norma também foi especificado o posicionamento do decibelímetro em ambientes internos: distância mínima de 1m da parede, 1,5m das janelas e altura do microfone entre 1,2m e 1,5m acima do piso.

Para os recintos externos analisados a norma utilizada foi a NBR10151- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000), sendo utilizado o nível de critério de avaliação estabelecido conforme a finalidade do local de análise. A NBR10151 - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas (ABNT, 2019) não foi utilizada, pois para ruídos vindos de meios de transporte esta norma recomendava a NBR16425 - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes (ABNT, 2016), porém a parte 2 desta norma, que apresenta as especificações aeroviárias, até a entrega deste trabalho não havia sido publicada (ABNT, 2016).

2.6 Pista do aeroporto Salgado Filho

A pista principal do aeroporto Salgado Filho possui duas cabeceiras para pousos e decolagens. A cabeceira localizada a 290° do norte magnético é chamada de 29 e outra extremidade da pista, localizada a 110° do norte magnético é denominada 11, como pode ser visto na Figura 2.1. Na grande maioria dos casos, em decorrência do vento, a cabeceira 11 é utilizada para a decolagem e a cabeceira 29 para o pouso (NABINGER, 2005).

Figura 2.1 Angulação da pista principal do Aeroporto Salgado Filho;



3. METEOROLOGIA

Para a coletas de dados foram feitas medições em quatro diferentes ambientes divididas em duas etapas como pode ser visto na Tabela 3.1. A partir dos dados coletados nestes quatro locais foram realizados estudos para comparar com as especificações da norma o nível de pressão sonora com a captada pelos decibelímetros.

Tabela 3.1 Locais das medições e aeronaves analisados durante cada medição.

MEDIÇÃO 1			
Local	Voo	Pousos Analisados	Decolagens Analisadas
Área externa de treinamento	Decibelímetro	ATR 72	Boeing 737
	1	Boeing 737	Airbus A320
Simulador	Decibelímetro	Airbus A320	Airbus A320
	2		
MEDIÇÃO 2			
Local	Voo	Pousos Analisados	Decolagens Analisadas
Boulevard Laçador	Decibelímetro	Airbus A320	Boeing 737 I
	1	Boeing 737	Boeing 737 II
Sala de Aula	Decibelímetro	Embraer 190	Embraer 190
	2	Airbus A320	

3.1 Equipamentos

Para as medições foram utilizados dois decibelímetros do modelo 2250, fabricado pela empresa Bruel & Kjaer (2005). Acoplados a estes foram instalados dois tripés para que a altura das medições estivesse dentro dos padrões exigidos pela NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997). Estes aparelhos foram disponibilizados pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Figura 3.1 (a), apresenta o decibelímetro calibrado para a realização das medições e a (b) apresenta o equipamento montado e equipado com o protetor de vento para a realização de uma das medições em questão.

Figura 3.1 (a) – Decibelímetro 2250 calibrado; (b) – Decibelímetro com o protetor de vento e montado no tripé para a medição;



(a)

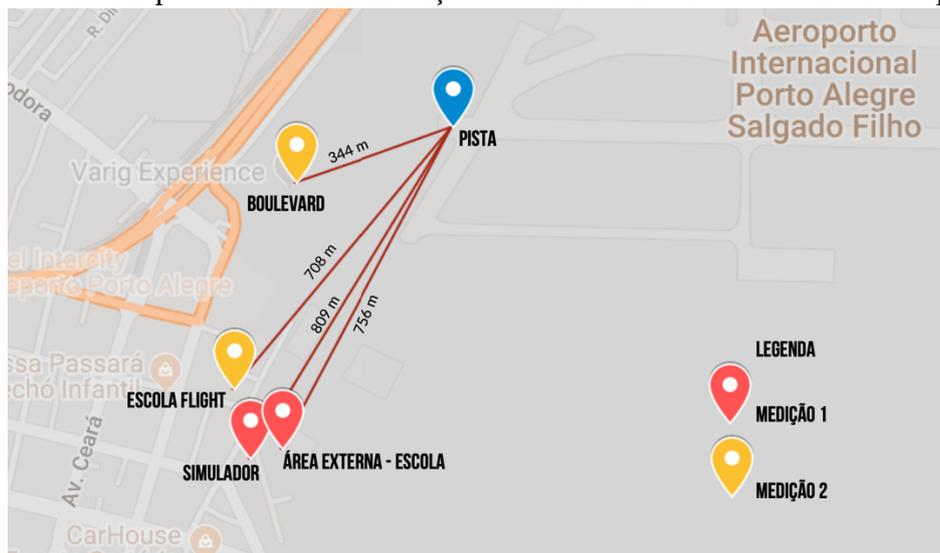


(b)

3.2 Locais medidos

Foram analisados quatro locais com diferentes distâncias da pista do aeroporto. Sendo as medições realizadas duas a duas, para que se pudesse comparar os níveis de pressão sonora para locais diferentes no mesmo instante. A Figura 3.2 mostra os pontos onde as medições foram realizadas e suas respectivas distâncias da cabeceira 29 da pista do aeroporto.

Figura 3.2 - Mapa dos locais de medição e suas distâncias à cabeceira 29 da pista.



3.2.1 Medição 1: Área externa da Escola Flight e simulador de voo da escola

Os dois primeiros locais medidos foram duas áreas externas utilizadas para a realização de treinamentos de alunos na escola de aviação civil Flight. O primeiro medidor, como mostra a Figura 3.3, ficou localizado abaixo da asa do simulador utilizado para treinamentos. O segundo medidor ficou localizado na área externa da escola mais próxima à cabeceira 29 da pista, área utilizada para treinamentos. Para este primeiro caso foram coletados três pousos e três decolagens de aeronaves comerciais, como mostrado na Tabela 3.1.

Figura 3.3 – Decibelímetro posicionado abaixo da asa do simulador de voo da Escola de Aviação Flight.



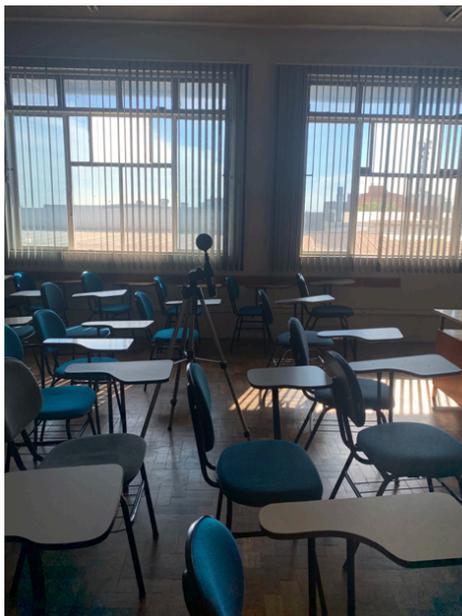
3.2.2 Medição 2: Sala de aula da Escola Flight e área externa do Shopping Boulevard Laçador

Neste segundo momento os equipamentos foram colocados em dois pontos mais distantes. O primeiro, como mostra a Figura 3.4(a), ficou localizado dentro da sala de aula da Escola Flight, denominada sala India. Esta sala possui as janelas posicionadas para a direção da cabeceira 29 da

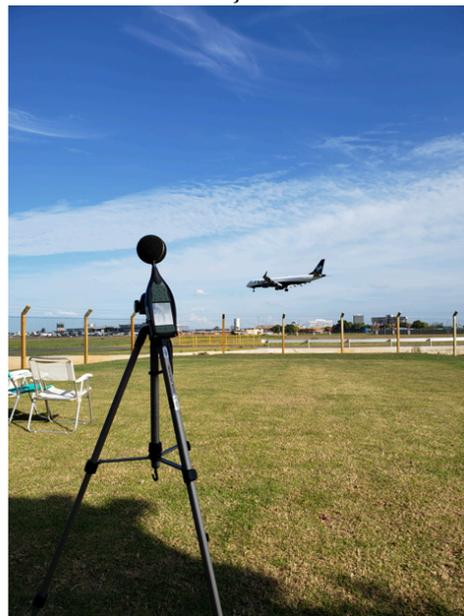
pista. O local possui uma área total de 39,04 m², sendo as paredes medindo 6,10 metros de profundidade e 3 metros de altura. As janelas do local são de vidro simples, não possuindo nenhum material destinado à blindagem de ruído. O segundo equipamento, como pode ser visto na Figura 3.4(b), foi colocado na área externa do Boulevard Laçador, região mais próxima da cabeceira 29 da pista. Durante as medições o local estava aberto para visitas, o que fez com que também fosse captado o ruído de crianças que brincavam no local, tais considerações serão apresentadas na seção Resultados.

Para esta segunda coleta foram registrados os níveis de pressão sonora de quatro pousos e três decolagens de aeronaves comerciais realizados entre 16:20 e 16:57 do dia 24 de outubro de 2019. Os modelos das aeronaves e suas respectivas cias podem ser vistos na Tabela 3.1.

Figura 3.4 (a) – Decibelímetro realizando as medições na sala de aula da Flight; (b) Decibelímetro realizando as medições no Boulevard Laçador



(a)



(b)

3.3 Aeronaves medidas

Para saber os modelos dos aviões que decolavam e pousavam do aeroporto, foram utilizadas as ferramentas: aplicativo para celular do *Flight Radar*, ferramenta que apresenta as aeronaves comerciais em rota que pousam e decolam do Salgado Filho, rádio sintonizada na frequência da torre de controle do aeroporto, para certificar qual era a próxima aeronave autorizada para pouso e decolagem e relatório de voos disponibilizado no site da ANAC (ANAC, 2019).

Através destas três ferramentas foram identificados e captados os ruídos dos seguintes equipamentos:

- a) Airbus A320 – capacidade 174 passageiros, peso máximo para decolagem 79.000 kg, nível efetivo de ruído percebido 94 dB (EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY, 2019a);
- b) Boeing 737 – capacidade 174 passageiros, peso máximo para decolagem 79.000 kg, nível efetivo de ruído percebido 97 dB (EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY, 2019b);
- c) Embraer 190 – capacidade 190 passageiros, peso máximo para decolagem 47.800kg, nível efetivo de ruído percebido 95 dB (EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY, 2019c);
- d) ATR 72 – capacidade 72 passageiros, peso máximo para a decolagem 19.990kg, nível efetivo de ruído percebido 94 dB (EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY, 2016).

3.4 Medições e transcrições

Para cada local em que as medições foram realizadas foi feita uma coleta contínua de 60 minutos, segundo a NBR10151- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000) o tempo de medição em cada ponto deve ser definido de modo a permitir a caracterização sonora do objeto de medição, abrangendo as variações sonoras durante o seu funcionamento ou operação. Em ambas as medições o decibelímetro foi fixado com um tripé a uma altura de 1,3 metros do chão. Para o caso das medições internas foram respeitadas as condições de posicionamento dos medidores quanto a distância de 2 metros de paredes, muros e demais objetos que possam refletir as ondas sonoras.

Quanto ao ajuste do decibelímetro, este foi ajustado para captar níveis de pressão sonora entre 16Hz e 8kHz.

Para realização da transcrição dos resultados medidos pelo decibelímetro foi utilizado o *software* do próprio fabricante, BZ-5503 *Measurement Partner Suite*. Os registros foram realizados e identificados conforme o horário de coleta e o decibelímetro utilizado, sendo estas realizada com intervalo de um segundo. A fim de facilitar a análise, foram realizadas as seleções dos eventos, ou seja, os momentos que eram detectados decolagens ou pousos para uma análise do nível de pressão sonora a cada fenômeno. Para selecionar o intervalo de tempo a ser analisado foi considerado o pico de cada evento e 30 segundos antecessores e posteriores a este pico, para que, no momento de plotar os gráficos pudesse ser realizada uma comparação no nível de pressão sonora de cada equipamento. Assim, foi possível analisar com maior precisão a perturbação que as aeronaves causam no momento de sua passagem.

4. RESULTADOS

4.1 Boulevard Laçador

Os valores apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2, mostram o L_{Aeq} medido ao longo de um minuto do procedimento de decolagem e pouso de diferentes modelos de aeronave. A título de comparação foi considerado como pico o momento que a medição atinge seu maior nível de pressão sonora. Partindo desse valor foram coletados 30 segundos antes e 30 segundos depois.

Decorrente das medições realizadas no Boulevard nota-se que durante o procedimento de pouso e decolagem todas as aeronaves medidas ultrapassaram o L_{Aeq} limite estabelecido pela NBR10151- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000) para “área externa mista com vocação recreacional”, 65 dB(A). Percebe-se que os resultados de pressão sonora coletados nos pousos são superiores aos valores coletados nas decolagens. Tal fenômeno é decorrente do sentido que a pista estava operando no momento das medições, ou seja, decolagem na cabeceira 11 e pouso na cabeceira 29, local mais próximo dos pontos de medição.

Figura 4.1: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 1 decorrentes dos pousos medidos no pátio do Boulevard Laçador.

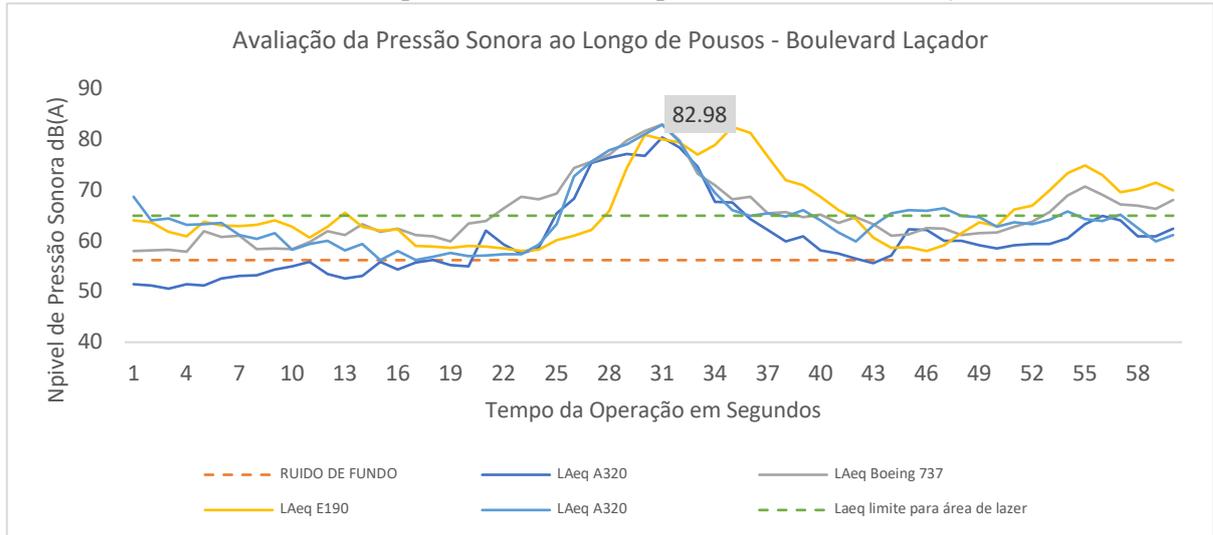
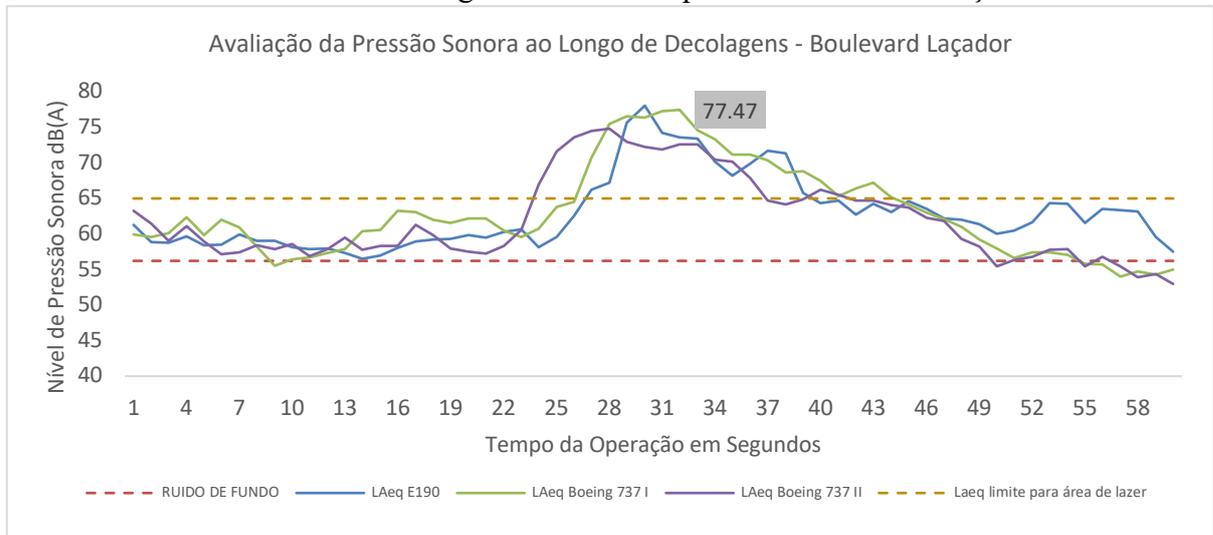


Figura 4.2: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 1 decorrentes das decolagens medidos no pátio do Boulevard Laçador.



Na Figura 4.1 nota-se que a pressão sonora possui dois picos. O primeiro é devido à passagem da aeronave sobre o decibelímetro 1 antes de atingir a cabeceira da pista. O segundo pico ocorre no momento do acionamento dos reversos para aumentar a frenagem das aeronaves. Sendo que, neste segundo momento, duas das aeronaves medidas ultrapassaram consideravelmente o limite estabelecido pela NBR10151- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000).

Nota-se que para as medições realizadas no Boulevard Laçador o ruído de fundo apresentou um valor elevado, 56,22 dB(A). Este resultado é devido ao ruído emitido por crianças que brincavam na área de lazer no momento das medições.

4.2 Sala de aula da Escola de Aviação Flight

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam os resultados no nível de pressão sonora medidos dentro da sala de aula. A título de comparação foram coletados os mesmos períodos de tempo e aeronaves estabelecidos para o Boulevard. Para o cálculo do ruído de fundo foi considerado o valor de L90

compilado para todo o tempo de medição, 33,84 dB(A). Por se tratar de um ambiente fechado e a sala de aula estar vazia no momento das medições, este foi o menor ruído de fundo apresentado em todas as análises realizadas.

Figura 4.2: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 2 decorrentes dos pousos medidos na sala de aula da Escola Flight.

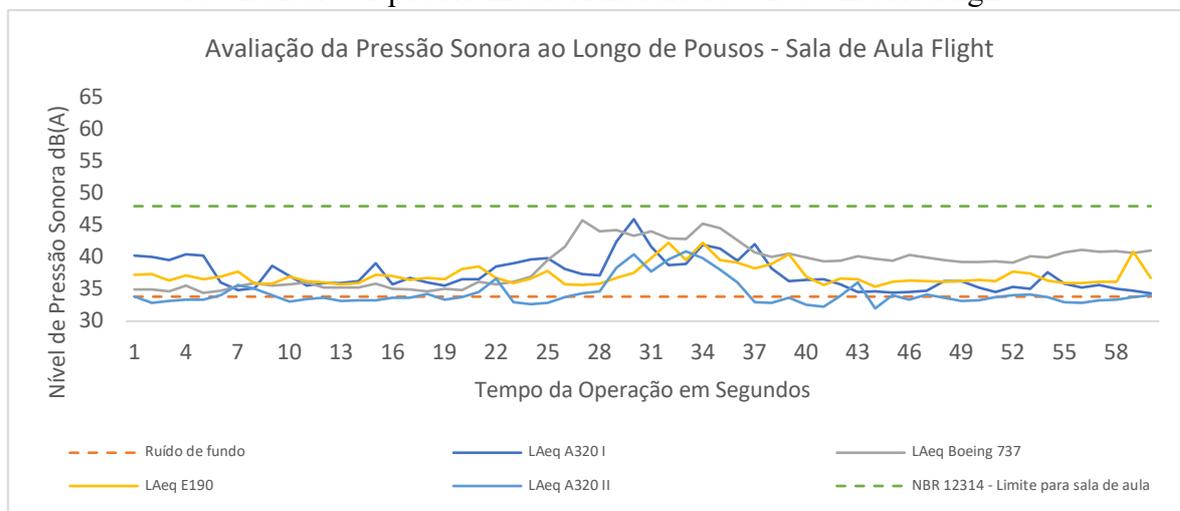
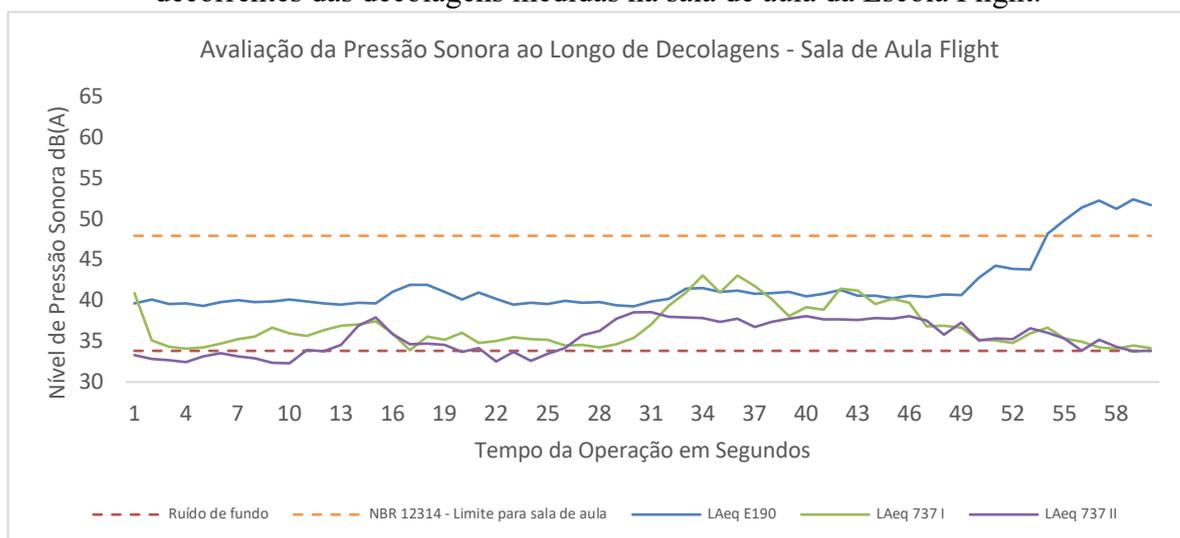


Figura 4.2: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 2 decorrentes das decolagens medidas na sala de aula da Escola Flight.



Para avaliar se o ruído aeronáutico ultrapassa o valor adequado foi utilizado o L_{Aeq} limite estabelecido pela NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997), para salas de aula, 48 dB(A).

O fato de a escola estar localizada a 756 metros da cabeceira 29 da pista do aeroporto fez com o nível de pressão sonora observado no local fosse bem inferior quando comparado aos dados coletados no Boulevard. Além disso, pode ser observado que os procedimentos de pouso obtiveram valores superiores de L_{Aeq} quando comparados às decolagens, isto deve-se ao fato de as aeronaves estarem pousando na cabeceira mais próxima da escola.

Em nenhum dos casos os níveis de pressão sonora gerados pelas aeronaves ultrapassaram o limite estabelecido de 48 dB(A), porém todos os procedimentos de pouso podem ser perfeitamente ouvidos

e seu ruído se destaca dos demais. As medidas coletadas acima dos valores limites são decorrentes de outras fontes como pessoas conversando pelos corredores da escola.

4.3 Área externa de treinamentos da Escola de Aviação Flight

As Figuras 4.3 e 4.4 mostram os gráficos correspondentes aos resultados do nível de pressão sonora para decolagens e pousos, respectivamente, medidos na área externa da Escola Flight. O local fica a uma distância de 756 metros da cabeceira da pista 29 e muito próximo à avenida Sertório, o que auxiliou para que o ruído de fundo fosse mais elevado que o apresentado na sala de aula, 48,7 dB(A). Observou-se também que a aeronave que apresentou maior nível de pressão sonora, tanto para decolagem quanto para pouso foi o Boeing 737. Tanto para a decolagem quanto para o pouso esta aeronave apresentou níveis de pressão sonora acima do estipulado pela NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000), 74dB(A) e 71dB(A), respectivamente.

Para os demais casos de decolagem o ruído aeronáutico foi perceptível ao ouvido humano, ficando um pouco acima do limite estabelecido pela norma. Para os procedimentos de pouso o ruído dos outros dois casos analisados foram pouco perceptíveis ao ouvido humano e não destoaram muito do ruído produzido pelos automóveis na avenida.

Por se tratar de um ambiente externo os valores comparativos de L_{Aeq} foram retirados da NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000), considerando uma “área mista, com vocação comercial e administrativa” no período diurno, limite estabelecido de 60dB(A). Os picos isolados apresentados nas análises são decorrentes dos pássaros que habitam a região.

Figura 4.3: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 1 decorrentes das decolagens medidas da área externa de treinamento da escola Flight.

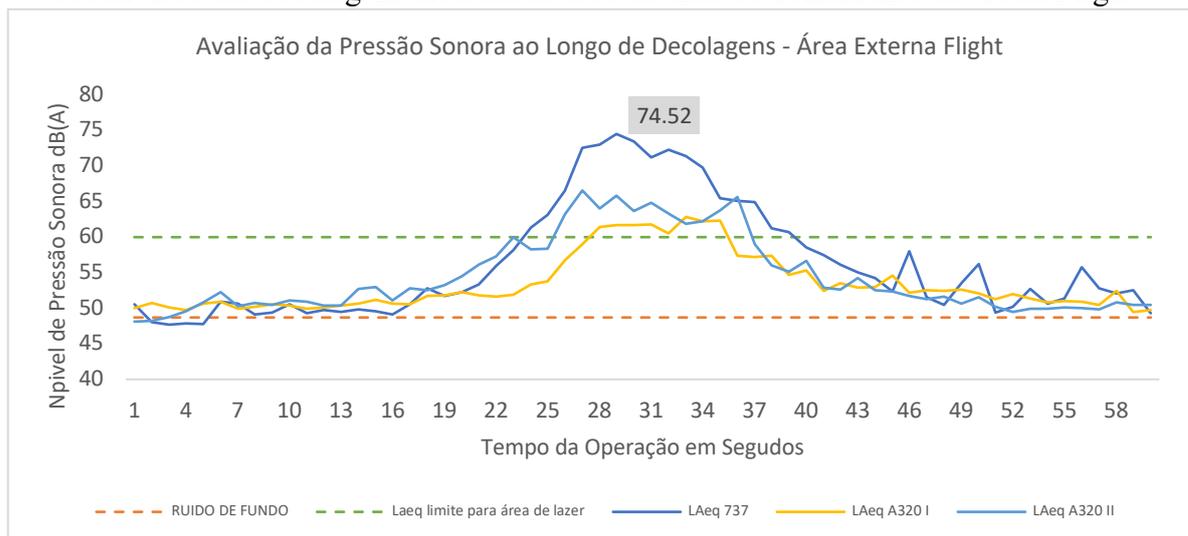
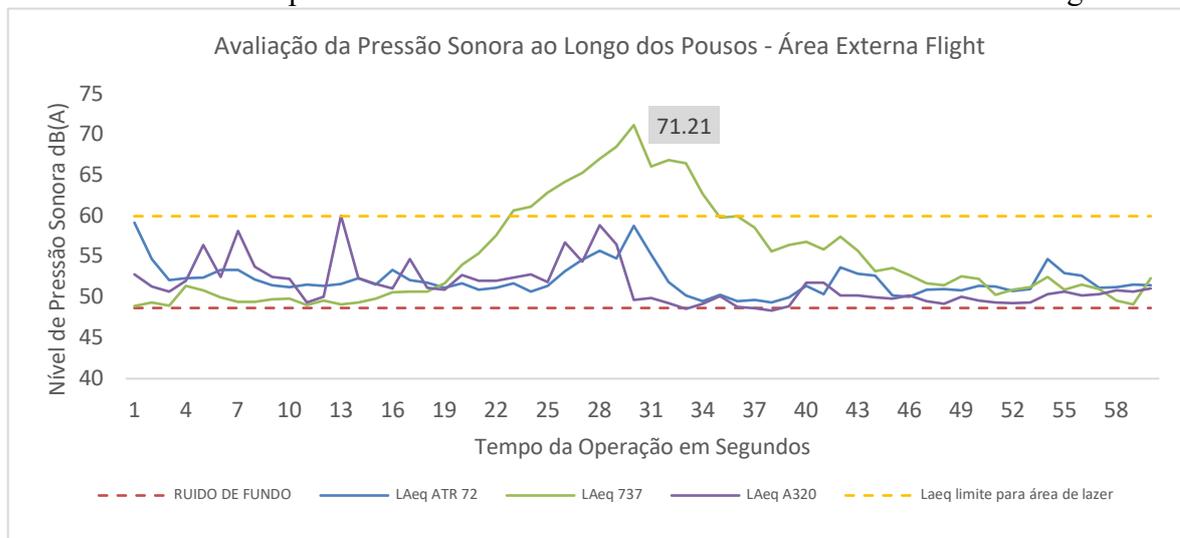


Figura 4.4: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 1 decorrentes dos pousos medidas da área externa de treinamento da escola Flight.



4.4 Área externa do simulador de treinamentos da Escola Flight

Em paralelo à medição realizada na área externa de treinamento, o decibelímetro 2 foi colocado abaixo da asa do simulador da escola. Este ponto estava localizado a 809 metros da cabeceira da pista 29, o local mais distante dos quatro medidos. As Figuras 4.5 e 4.6 apresentam os resultados dos níveis de pressão sonora decorrentes dos procedimentos de decolagem e pouso, respectivamente.

Fazendo uma comparação direta com as medições realizadas na área externa pode-se perceber que este ponto, um pouco mais distante, obteve resultados menos precisos para o caso dos pousos. Para as decolagens os resultados apresentados foram muito semelhantes ao da área externa de treinamentos, visto à proximidade dos dois decibelímetros.

Figura 4.5: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 2 decorrentes das decolagens medidas da área externa do simulador da escola Flight.

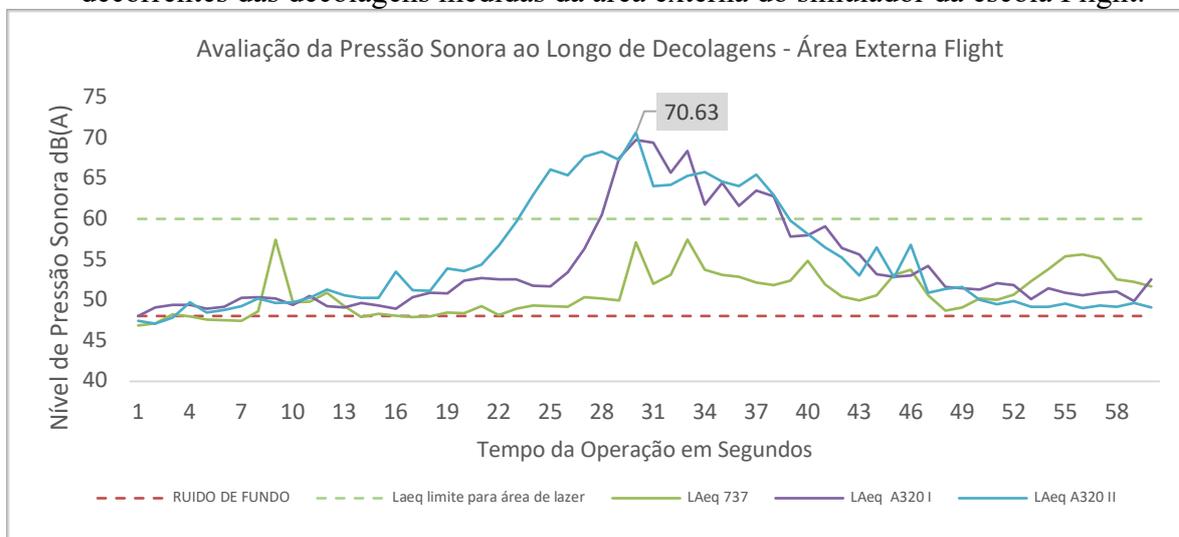
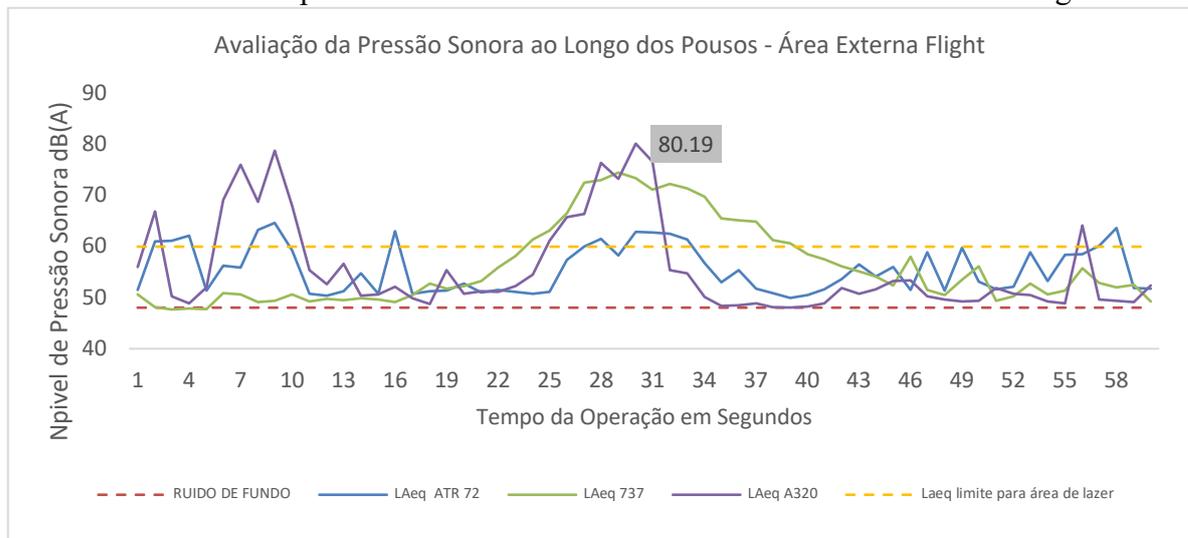


Figura 4.6: Evolução dos níveis de pressão sonora medidos com o decibelímetro 2 decorrentes dos pousos medidas da área externa do simulador da escola Flight.



Duas das três decolagens registradas apresentaram níveis de pressão sonora acima do indicado pela norma, enquanto todos os pousos analisados apresentaram valores acima do nível adequado de pressão sonora. Os resultados de pousos, apesar de menos uniformes, foram os que apresentaram o maior pico de pressão sonora em todos os casos analisados, tal fato deve-se à união de diferentes fontes de ruído, as aeronaves e os veículos na avenida, que quando sobrepostos atingem L_{Aeq} acima de 80 dB(A).

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os resultados de L_{Aeq} para todas as situações analisadas durante as coletas realizadas. Observa-se que os níveis de pressão sonora no Boulevard, para todos os casos, excedem o limite estabelecido pela NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000), 65 dB(A). Para a sala de aula os valores medidos são inferiores, mantendo-se dentro do limite de conforto acústico estabelecido pela NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997), 48 dB(A). Para a análise 2 o L_{Aeq} ficou acima do esperado pela norma, 60 dB(A), considerando as análises dos dois decibelímetros, porém com resultados inferiores ao obtido no Boulevard Laçador. Como a posição da análise 2 encontra-se mais distante da pista que a análise 1 e, por serem locais externos, apresentaram valores superiores de nível de pressão sonora e ruído de fundo que a análise em sala de aula, porém inferiores aos medidos no Boulevard Laçador.

Tabela 4.1 LAeq das aeronaves e Laeq do ruído de fundo para análise em sala de aula e no Boulevard

ANÁLISE 1

Operação	Voo	LAeq Sala de Aula Decibelímetro 2	LAeq Boulevard Decibelímetro 1
POUSOS dB(A)	Airbus A320 I	41,4	75,6
	Boeing 737	43,8	77,9
	Embraer 190	39,3	73,0
	Airbus A320 II	38,2	77,7
DECOLAGENS dB(A)	Boeing 737 I	39,8	74,7
	Boeing 737 II	37,6	72,0
	Embraer 190	40,5	73,0
LAeq TOTAL dB(A)		40,5	75,4
RUÍDO DE FUNDO dB(A)		33,8	56,2

Tabela 4.2 LAeq das aeronaves e Laeq do ruído de fundo para análise na área externa da Escola de Aviação Flight e área externa do simulador

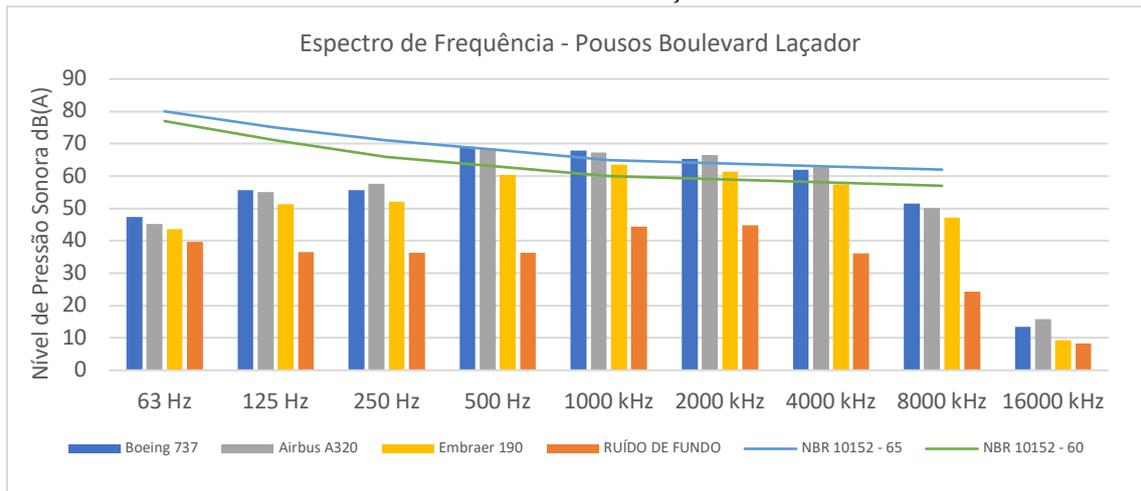
ANÁLISE 2

	LAeq Área Externa Flight Decibelímetro 1	LAeq Simulador Decibelímetro 1
POUSOS dB(A)	ATR 72	53,9
	Boeing 737	66,3
	Airbus A320	52,9
DECOLAGENS dB(A)	Boeing 737	71,4
	Airbus A320 I	61,1
	Airbus A320 II	64,1
LAeq TOTAL dB(A)		65,7
RUÍDO DE FUNDO dB(A)		48,7

4.5 Nível de pressão sonora por bandas de oitava

A Figura 4.7 apresenta o espectro sonoro de frequência para o caso mais crítico observado: procedimentos de pouso captados pelo decibelímetro 1 no Boulevard Laçador. Os valores em azul, cinza e amarelo representam o nível de pressão sonora resultante dos pousos somados ao ruído de fundo. Estes são comparados ao espectro de frequência estabelecido pela norma NBR 10152 – Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações (ABNT, 2017), linhas verde e azul no gráfico. Nota-se que para ambas os valores, 60 ou 65 dB(A), o nível de pressão sonora das aeronaves ultrapassa os valores da norma. Além disso, em laranja observa-se o ruído de fundo, que quando comparado aos demais valores nota-se que o ruído aeronáutico acrescenta à pressão sonora medida até 25dB(A).

Figura 4.7: Espectro sonoro de frequência dos pousos captados pelo decibelímetro 1 no Boulevard Laçador



5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma análise do nível de pressão sonora no entorno do Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre. Através de 4 medições realizadas foi possível captar o LAeq e o ruído de fundo para pontos a diferentes distâncias da pista principal do aeroporto. Os resultados foram então comparados as normas NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997) e NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000) para que se pudesse verificar se os valores respeitavam os limites de conforto acústico estabelecido.

Na primeira medição analisada, no Boulevard Laçador, foi possível perceber que todos os procedimentos, tanto decolagem quanto pouso, apresentaram valores acima do limite apresentado na norma, 65 dB(A). Quando comparadas as operações de decolagem e pouso o maior nível de pressão sonora pode ser percebido nos pousos, atingindo valores de até 77,9 dB(A). Entende-se que os procedimentos de pouso obtiveram valores mais elevados devido à posição que o decibelímetro foi colocado, mais próximo à cabeceira 29, local onde as aeronaves estavam pousando. Pode-se observar que a aeronave que apresentou o maior nível de pressão sonora durante o pouso foi o Boeing 737, 77,9 dB(A), não muito atrás o Airbus A330 atingiu o LAeq de 77,7 dB(A).

Em paralelo à medição do Boulevard Laçador, o decibelímetro 2 realizou as medições na sala de aula da Escola de Aviação Flight. O ponto localizado à 708 metros da cabeceira 29 apresentou valores bem inferiores quando comparado ao decibelímetro 1 e que se mantiveram dentro do exigido pela NBR12314 - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (ABNT, 1997), para escolas, 48 dB(A). Durante o pouso do Boeing 737 o decibelímetro captou um LAeq de 43,0 dB(A), considerado o maior nível de pressão decorrente das aeronaves.

Como terceira medição foi realizada a análise da área externa da escola, onde são realizados treinamentos e simulações ao ar livre. O local fica a uma distância de 756 metros da cabeceira da pista 29. Neste ponto os valores captados pelo decibelímetro também não ficaram dentro dos limites exigidos pela NBR10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (ABNT, 2000) para área considerada mista, com vocação comercial e administrativa. Este terceiro ponto captou os ruídos decorrentes da avenida Sertório, que fica próxima ao local, sobressaindo os resultados e dificultando, no caso dos pousos, distinguir o ruído dos automóveis do ruído aeronáutico. Por esta mesma razão o ruído de fundo também apresentou um valor mais elevado, 48dB(A).

Com base na comparação dos resultados entende-se como principal ponto de alerta a pressão sonora a que os frequentadores do Boulevard Laçador estão sujeitos ao permanecerem no local.

Considerando que estes fiquem por duas horas durante o dia no ambiente externo, eles estarão sujeitos a uma média de 4 operações de decolagem ou pouso, ou seja, estarão expostos a situações de desconforto acústico e a níveis de pressão sonora acima do recomendado.

Como futuras análises recomenda-se realizar medições nas áreas internas do Boulevard Laçador e, principalmente, verificar o nível de pressão sonora e a dose de ruído a que os funcionários do local estão sujeitos. A partir disso, analisar se há necessidade de utilizar equipamento de proteção individual (EPI) auditivo, para que estes não fiquem expostos diariamente a estas pressões elevadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 11415 Ruído Aeronáutico. Brasil, p. 10, 1990.
- ABNT. NBR 12314 Aeronáutica - Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico. [s. l.], 1997.
- ABNT. NBR 10151 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento. [s. l.], p. 4, 2000.
- ABNT. **16425-1 - Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes. Parte 1: Aspectos gerais.** 2016. Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/index.php?id=803>>. Acesso em: 1 dez. 2019.
- ABNT. NBR 10152. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [s. l.], 2017.
- ABNT. NBR 10151 Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. [s. l.], 2019.
- ANAC. **Histórico de Voos — Agência Nacional de Aviação Civil ANAC.** 2019. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/historico-de-voos>>. Acesso em: 1 dez. 2019.
- DINATO, Antonio Carlos. Ruído sonoro no entorno de aeroportos. Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto. [s. l.], p. 161, 2011.
- EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. No. EASA.IM.A.084 for ATR 42, ATR 72. [s. l.], v. 001, n. March, p. 1–28, 2016.
- EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. No. EASA.A.064.3 for A320. [s. l.], v. 001, n. April, p. 1–216, 2019. a. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/TCDSN_EASA.IM_.A.120.4_Issue11.pdf>
- EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. No. EASA.IM.A.120.4 for Boeing 737. [s. l.], v. 001, n. August, p. 1–259, 2019. b.
- EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. No. EASA.IM.A.071 for ERJ 190. [s. l.], v. 001, n. April, p. 1–50, 2019. c.
- GERGES, Samir N. Y. Ruído: Fundamentos e Controle. [s. l.], n. 0482, p. 600, 1997.
- MELLO, Roberta. Fraport concluiu 75% das obras do aeroporto em Porto Alegre. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2019/09/703233-fraport-concluiu-75-das-obras-do-aeroporto.html>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- MIGUEL, Letícia Fleck Fadel; TAMAGNA, Alberto. **Tópicos de Acústica Aplicada Notas de Aula de ENG03015 - Acústica Aplicada.pdf** Porto Alegre, 2007.
- NABINGER, Luciano Baldino. Medições De Ruído Aeronáutico Dentro Da Área Ii Do Plano Específico De Zoneamento De Ruído Do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre / Rs. [s. l.], p. 138, 2005.
- PINTO ALVES, Cláudio Jorge. Módulo 2 – Aeronaves e Comprimento de Pistas. [s. l.], 2018. Disponível em: <<http://www2.ita.br/~claudioj/aeron.pdf>>
- SCHERER OTT, Günther; RAGGIO QUINTAS, Juan Pablo. Determinação dos níveis de pressão sonora em estações da Trensurb, durante a chegada e partida dos trens. **Revista Liberato**, [s. l.], v. 20, n. 33, p. 71–86, 2019.

NOMENCLATURA

Símbolo	Definição	Unidade
<i>NPS</i>	Nível de pressão sonora	[dB(A)]
<i>P₀</i>	Pressão de referência equivalente a 2×10^{-5}	[N/m ²]
<i>P</i>	Pressão sonora	[N/m ²]
<i>SEL</i>	<i>Sound Exposure Level</i> Nível total de exposição sonora a um único evento	[dB(A)]
<i>L_{Aeq}</i>	Nível de pressão sonora contínua	[dB(A)]
<i>L₉₀</i>	nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo das medições	[dB(A)]
<i>L_i</i>	Nível de pressão sonora no i-ésimo evento	[dB(A)]
dB(A)	Unidade de decibéis ponderados à curva A	-