

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

ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM ZONAS ESPECIAIS
AEROPORTUÁRIAS CONFORME ABNT NBR 16425-2/2020 E RBAC 161/3

por

Priscila de Oliveira Renault de Souza

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, setembro de 2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Souza, Priscila de Oliveira Renault de
ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM ZONAS
ESPECIAIS AEROPORTUÁRIAS CONFORME ABNT NBR
16425-2/2020 E RBAC 161/3 / Priscila de Oliveira
Renault de Souza. -- 2023.
25 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, 2023.

1. Nível de pressão sonora. 2. Ruído aeronáutico.
3. Plano de zoneamento de ruído. 4. ABNT NBR 16425-2.
5. RBAC 161/3. I. Miguel, Leticia Fleck Fadel, orient.
II. Título.

Priscila de Oliveira Renault de Souza

ANÁLISE DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EM ZONAS ESPECIAIS
AEROPORTUÁRIAS CONFORME ABNT NBR 16425-2/2020 E RBAC 161/3

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. Ignácio Iturrioz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientadora: Prof^a. Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof^a. Letícia Fleck Fadel Miguel (presidente)

Prof. Herbert Martins Gomes

Prof. Tiago Becker

Porto Alegre, setembro de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu esposo Adir, que esteve ao meu lado em todo o tempo e sempre esteve disposto a me ajudar e apoiar nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por ter permitido que meus objetivos fossem alcançados e por ter dado o entendimento de que tudo acontece no tempo dEle.

Agradeço a minha mãe Eliane e minha irmã Greyce que sempre me incentivaram com gestos e palavras dizendo que sou capaz de atingir meus objetivos e que compreenderam a minha ausência enquanto me dedicava a este trabalho.

Os meus sogros que me aconselharam e oraram pela minha vida durante toda graduação.

À universidade por ter propiciado um ensino gratuito e de qualidade.

Agradeço a professora Letícia, que aceitou me orientar e me ajudou durante a elaboração deste trabalho e sempre se demonstrou disponível e com vontade de auxiliar no que fosse necessário.

Os meus colegas por toda ajuda e parceria durante a graduação.

SOUZA, P. O. R. Análise do nível de pressão sonora em zonas especiais aeroportuárias conforme ABNT NBR 16425-2/2020 e RBAC 161/3. 2023. 25 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

RESUMO

O fluxo do transporte aéreo brasileiro é intenso e o ruído gerado por aeronaves afeta a vida de muitas pessoas. Por este motivo, foi realizada uma análise do nível de pressão sonora nas zonas especiais aeroportuárias do Aeroporto Internacional Salgado Filho, localizado na cidade de Porto Alegre. As regiões escolhidas para realizar o estudo foram: Praça Torben de Alencastro Friedrich, Boulevard Laçador e Estacionamento Ponto a Ponto. Os pontos verificados estão a uma distância máxima de 500m da cabeceira da pista de pousos e decolagens do aeródromo. Foram realizadas três medições de dez minutos em cada ponto; para efetuar os procedimentos de medição, foi adotada a norma ABNT NBR 16425-2 e, para realizar a análise do ruído aeronáutico, foram utilizados a ABNT NBR 16425-2 e o RBAC/161-3. Foi observado que, na ausência de anteparos e superfícies absorventes de ruído, as regiões mais próximas do aeroporto são submetidas a um nível de pressão sonora mais elevado.

PALAVRAS-CHAVE: ruído aeronáutico, nível de pressão sonora, ABNT NBR 16425-2/2020, RBAC 161/3.

SOUZA, P. O. R. Sound pressure level analysis in special airport areas according to ABNT NBR 16425-2/2020 and RBAC 161/3. 2023. 25 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

ABSTRACT

The flow of Brazilian air transport is intense and the noise generated by aircraft affects the lives of many people. For this reason, an analysis of the sound pressure level was carried out in the special airport areas of the Salgado Filho International Airport, located in the city of Porto Alegre. The regions chosen to carry out this study were: Praça Torben de Alencastro Friedrich, Boulevard Laçador and Estacionamento Ponto a Ponto. The verified points are located at a maximum distance of 500m from the landing and take-off runway of the aerodrome. Three ten-minute measurements were performed at each point; to carry out the measurement procedures, the ABNT NBR 16425-2 standard was adopted and, to carry out the analysis of aeronautical noise, ABNT NBR 16425-2 and RBAC/161-3 were used. In the absence of noise absorbing screens and surfaces for the measurement times carried out, it was observed that the regions closest to the airport are subjected to a higher sound pressure level.

KEYWORDS: aircraft noise, sound pressure level, ABNT NBR 16425-2/2020, RBAC161/3.

NOMENCLATURA

Símbolos

L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente ponderado a curva A	[dB(A)]
L_{eq}	Nível de pressão sonora equivalente	[dB(A)]
$L_{Aeq,1s}$	Nível de pressão sonora equivalente ponderado a curva A em 1 segundo	[dB(A)]
$L_{Aeq,1s,max}$	Nível de pressão sonora máximo equivalente ponderado a curva A em 1 segundo	[dB(A)]
$L_{Aeq\ limite}$	Nível de pressão sonora máximo equivalente ponderado a curva A que o RBAC permite	[dB(A)]
L_{resid}	Nível de pressão sonora residual	[dB(A)]
L_{95}	Nível de pressão sonora excedido em 95% do tempo das medições	[dB(A)]
P	Pressão sonora	[N/m ²]
P_0	Pressão de referência equivalente a 2×10^{-5}	[N/m ²]

Abreviaturas e acrônimos

ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
dB(A)	Unidade de decibéis ponderados à curva A
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
NPS	Nível de Pressão Sonora
PZR	Plano de Zoneamento de Ruído
PEZR	Plano Especial de Zoneamento de Ruído
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.3 OBJETIVO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 RUÍDO.....	2
2.2 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	2
2.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE.....	2
2.4 NÍVEL DE RUÍDO RESIDUAL.....	3
2.5 O EFEITO DO RUÍDO NO CORPO HUMANO.....	3
2.6 RUÍDO AEROPORTUÁRIO.....	3
2.7 PLANO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO AEROPORTUÁRIO.....	3
2.7.1 Plano de Zoneamento Específico do Aeroporto Internacional Salgado Filho.....	4
2.8 NORMAS APLICÁVEIS.....	5
2.8.1 ABNT NBR 16425-2/2020.....	5
2.8.1.1 Medições.....	5
2.8.1.2 Monitoramento operacional de aeródromo e tempo de medição.....	5
2.8.1.3 Nível de tolerância da comunidade.....	5
2.8.2 RBAC161/3.....	6
3. CASO DE ESTUDO.....	6
3.1 PLANEJAMENTO DAS MEDIÇÕES.....	6
3.2 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO.....	7
3.3 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO.....	8
3.3.1 Praça Torben de Alencastro Friedrich.....	8
3.3.2 Boulevard Laçador.....	9
3.3.3 Estacionamento Condomínio Logístico Ponto a Ponto.....	9
4. RESULTADOS.....	10
4.1 PRAÇA TORBEN DE ALENCASTRO FRIEDRICH.....	10
4.2 BOULEVARD LAÇADOR.....	11
4.3 ESTACIONAMENTO PONTO A PONTO.....	13
4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS AERONAVES CONSIDERADAS.....	14
5. CONCLUSÃO.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

1. INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

A movimentação aeroportuária brasileira é intensa e, por este motivo, o ruído gerado por aeronaves interfere no cotidiano de muitas pessoas. A limitação da propagação de ruído em zonas especiais aeroportuárias é importante, pois o conforto acústico nestas áreas habitadas, a saber, as áreas destinadas a abrigar qualquer atividade humana, ou seja, qualquer espaço destinado à moradia, trabalho, estudo, lazer, recreação, atividade cultural, administração pública, atividades de saúde entre outras (ABNT NBR 10151, 2020), é de relevante interesse para sociedade.

O Aeroporto Internacional Salgado filho, sob concessão da Fraport Brasil, possui grande fluxo de aeronaves, e diariamente recebe, em média, 195 voos entre pousos e decolagens, ou seja, 7,5 voos por hora. O aeroporto está localizado na zona norte de Porto Alegre e as zonas especiais aeroportuárias compreendem os seguintes bairros: Sarandi, Anchieta, São João, Navegantes, Jardim São Pedro e Jardim Floresta. A união destes bairros reúne 119.292 habitantes e 8,46% da população da cidade (IBGE, 2010).

A principal motivação deste estudo é a análise do nível de pressão sonora nas áreas afetadas pelo ruído aeronáutico, que tem como finalidade quantificar o ruído através de medições *in loco* e verificar a adequação às normas vigentes.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um estudo realizado sobre ruído aeronáutico em regiões próximas ao Aeroporto Internacional Salgado filho feito por Bruna Günther Gramacho em 2019 contemplou a medição do nível de pressão sonora em quatro pontos no em torno do aeroporto em questão. Gramacho (2019) verificou que o ponto medido mais próximo da cabeceira da pista de decolagem e pouso possui o nível de pressão sonora máximo de 82,98dB(A) (pico de ruído durante a operação de decolagem).

Um segundo estudo elaborado acerca do ruído gerado por aeronaves nas redondezas do Aeroporto Estadual de Ribeirão Preto por Antônio Carlos Dinato em 2011, verificou que o maior nível de pressão sonora se encontra em regiões próximas à cabeceira da pista com o valor máximo obtido em 90,27dB(A) e constatou que variações na temperatura e no vento influenciam a propagação do ruído. Uma das medidas sugeridas para atenuação do incômodo do ruído é a observação do plano diretor da cidade com a orientação de criação de novos bairros afastados das áreas próximas do aeroporto citado.

Outro estudo realizado quanto às medições de ruído aeronáutico, por Luciano Nabinger em 2005, verificou os níveis de pressão sonora em pontos próximos ao Aeroporto Internacional Salgado Filho, comparando-os com os indicados na norma ABNT NBR 10151/2000, e observou que o maior valor de nível de pressão sonora medido foi de 20dB(A) acima do ruído de fundo.

A bibliografia mencionada auxiliou na apresentação do presente trabalho, pois todos os estudos supracitados abordam a medição do nível de pressão sonora em áreas próximas a aeroportos e realizam a análise do ruído aeronáutico de acordo com normas brasileiras.

1.3 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar a análise do nível de pressão sonora em zonas especiais aeroportuárias determinadas pela ANAC, conforme o PEZR (Plano Especial de

Zoneamento de Ruído), afim de averiguar o conforto acústico em áreas destinadas a abrigar qualquer atividade humana nas proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho. O estudo tem a finalidade de quantificar o ruído através de medições *in loco* em três áreas abrangidas pelo PEZR. Os procedimentos de medição, verificação e análise obedecem à norma ABNT NBR 16425-2/2020 – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – e ao RBAC 161/3. Assim, o estudo visa responder à seguinte questão: o ruído gerado por aeronaves na movimentação aeroportuária está em conformidade com as normas brasileiras e regulamento da aviação civil?

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RUÍDO

O ruído e o barulho são interpretações subjetivas e desagradáveis do som. Costuma-se denominar barulho ou ruído todo som que é indesejável (SALIBA, 2018). A literatura estabelece também que o ruído pode ser definido como um som sem harmonia (BISTAFA, 2018). Essa denominação varia de indivíduo para indivíduo, para um mesmo som escutado, pois se trata de uma interpretação individual e subjetiva em relação a um mesmo som. Assim, conclui-se que o som é um fenômeno físico e o ruído uma interpretação humana deste fenômeno, quando não desejado (NABINGER, 2005).

2.2 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons, sendo sempre calculado com o valor eficaz da pressão sonora (BISTAFA, 2018). A representação linear é pouco conveniente, pois o ouvido humano tem uma sensação que não é linear, então se usa uma escala logarítmica, que representa melhor a sensação do ouvido, definida da seguinte forma (MIGUEL, 2007):

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

Onde P é a pressão sonora e P_o é a pressão de referência a 2×10^{-5} N/m². A unidade de medida do nível de pressão sonora é o dB, e a escala utilizada em dB que melhor representa uma correção com a audibilidade humana é a curva de ponderação A.

2.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE

O potencial de danos à audição de um dado ruído depende não somente de seu nível, mas também de sua duração. O nível de pressão sonora equivalente é o nível que representa a quantidade de energia presente no nível sonoro flutuante medido, e corresponde à energia sonora média ao longo do tempo. É possível estabelecer um valor único L_{eq} , que é o nível sonoro médio integrado durante uma faixa de tempo especificada (GERGES, 2000). O cálculo é representado por:

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

O L_{eq} corresponde ao nível constante que possui a mesma quantidade de energia que o conjunto de níveis variáveis da fonte sonora que é desejado medir (NABINGER, 2005).

2.4 NÍVEL DE RUÍDO RESIDUAL

O ruído residual (L_{resid}) é o som remanescente do som total em um determinado local e em uma dada situação quando o som específico é suprimido (ABNT NBR 10151, 2020). Para longas medições, este ruído pode ser representado pelo L_{95} , onde os níveis de ruído permanecem 95% do tempo acima de determinado nível. Para medições de eventos únicos, como é o caso deste estudo, o ruído residual pode ser calculado através da equação 2, considerando como intervalo de medição apenas o período que não houve ruído proveniente de aeronaves.

2.5 O EFEITO DO RUÍDO NO CORPO HUMANO

A exposição ao ruído pode gerar trauma acústico, perda auditiva temporária ou perda auditiva permanente. Sons de curta duração e alta intensidade podem resultar em uma perda auditiva imediata, severa e permanente, conceituada como trauma acústico. Exposições moderadas podem inicialmente causar uma perda auditiva temporária, que a literatura denominou TTS (*temporary threshold shift*). A perda auditiva permanente tem sido conhecida popularmente em nosso meio como “PAIR” (perda auditiva induzida por ruído); esse ruído é sabidamente ocupacional. A perda auditiva é mensurada determinando-se limiares auditivos em várias frequências através do exame conhecido como audiometria. (SALIBA, 2000).

Pesquisadores têm compilado nas últimas décadas o efeito de ruído no corpo humano. São conhecidos sérios efeitos tais como: aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos. (GERGES, 2000).

Um longo tempo de exposição a ruído alto pode causar sobrecarga do coração causando secreções anormais de hormônios e tensões musculares. O efeito destas alterações aparece em forma de mudanças de comportamento, tais como: nervosismo, fadiga mental, frustração, prejuízo no desempenho no trabalho, provocando também altas taxas de ausência no trabalho. (GERGES, 2000).

2.6 RUÍDO AEROPORTUÁRIO

O ruído aeronáutico é aquele oriundo das operações de circulação, aproximação, pouso, decolagem, subida, taxiamento e teste de motores de aeronaves. É um ruído intermitente ou não estacionário, com elevados níveis sonoros na sua fonte, podendo causar efeitos adversos sobre a população exposta a níveis excessivos desse tipo de ruído (ANAC, 2023).

Para as medições destes fenômenos, os principais parâmetros que influenciam os 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 (GRAMACHO, 2019).

2.7 PLANO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO AEROPORTUÁRIO

Plano de Zoneamento de Ruído de Aeródromo é um documento elaborado nos parâmetros adotados pelo regulamento brasileiro de aviação civil, que tem como objetivo representar geograficamente a área de impacto do ruído aeronáutico decorrente das operações nos aeródromos e, aliado ao ordenamento adequado das atividades situadas nessas áreas, ser o instrumento que possibilita preservar o desenvolvimento dos aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno (RBAC 161/3, 2021).

Em linhas gerais, no PEZR encontram-se identificadas as áreas abarcadas pelo ruído aeronáutico, vindo a servir pelas municipalidades como instrumento na tomada de decisão sobre o uso do solo no entorno dos aeródromos. De maneira ideal, as áreas mais afetadas pelo ruído não deveriam ser ocupadas por residências, escolas, hospitais etc., cabendo ao Município (Artigo 30, inciso VIII, da Constituição da República Federativa do Brasil) fazer o adequado planejamento da ocupação do solo com base nas informações previstas no PEZR (RBAC 161/3, 2021).

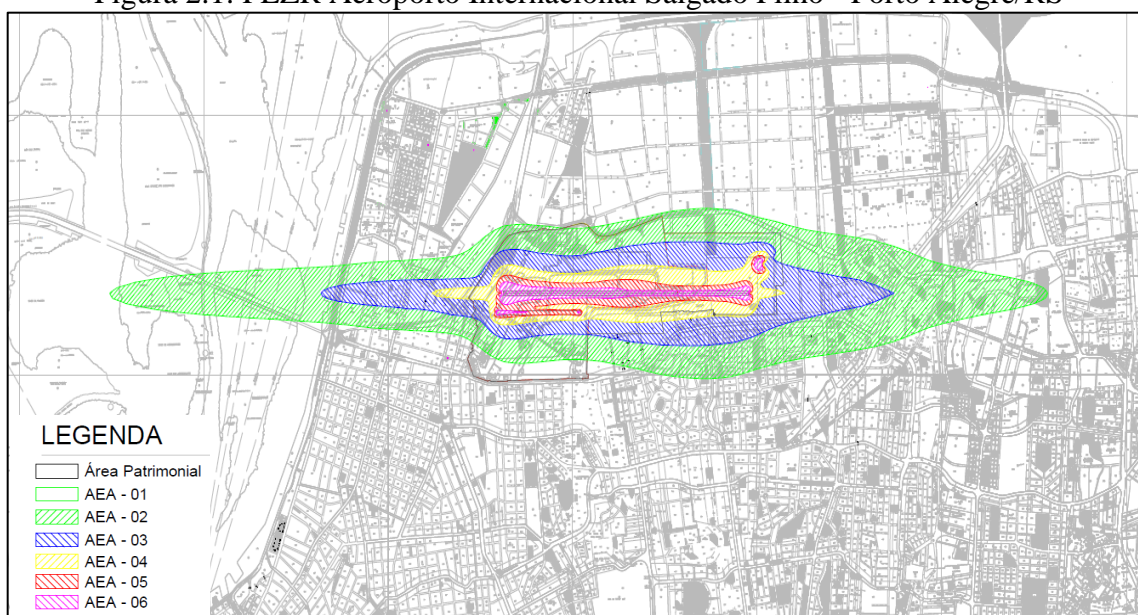
2.7.1 Plano de Zoneamento Específico do Aeroporto Internacional Salgado Filho

O Plano Específico de Zoneamento de Ruído, apresentado na Figura 2.1, é composto pelas curvas de ruído de 85dB, 80dB, 75dB, 70dB e 65dB e é elaborado nos termos do RBAC 161/3. O PEZR é composto pelas curvas de ruído e pelas compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas. As curvas de ruído são linhas traçadas em um mapa, cada uma representando níveis iguais de exposição ao ruído.

A área delimitada pela curva verde (AEA-02) indica um ruído permitido entre 65dB e 70dB, a região definida pela curva azul (AEA-03) aponta um ruído tolerado entre 70dB e 75dB, o território abrangido pela curva amarela (AEA-04) mostra um ruído admitido entre 75dB e 80dB, a área integrada pela curva vermelha (AEA-05) designa um ruído entre 80dB e 85dB e a região determinada pela curva rosa (AEA-06) indica um ruído acima de 85dB.

A região composta pela AEA-06, mais crítica, corresponde à pista de voo do Aeroporto Internacional Salgado Filho, e a área definida pela AEA-05 representa o entorno da pista de voo, ambas são de acesso restrito ao aeroporto e não é permitida a entrada de pessoas não autorizadas. As demais regiões abrangem áreas de acesso comum à comunidade, tendo como exemplos de ocupação do solo: parques, comércio, escolas, moradias, avenidas e mercados.

Figura 2.1: PEZR Aeroporto Internacional Salgado Filho - Porto Alegre/RS



2.8 NORMAS APLICÁVEIS

A norma utilizada para avaliação do nível de pressão sonora em áreas externas foi a ABNT NBR 16425-2 – Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transporte, parte 2: sistema de transporte aéreo. E também foi utilizado para realizar a avaliação do ruído aeronáutico o regulamento brasileiro de aviação civil número 161/3, que é um dos requisitos para a certificação operacional de aeroportos e define critérios técnicos aplicáveis na análise de questões relacionadas ao ruído aeronáutico na aviação civil.

2.8.1 ABNT NBR 16425-2/2020

A ABNT NBR 16425, que aborda a medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes, é composta por 6 partes. A parte 2 desta norma diz respeito ao tema abordado neste trabalho: o sistema de transporte aéreo.

A elaboração desta parte da ABNT NBR 16425 foi motivada pela inexistência de normas técnicas brasileiras que estabeleçam procedimentos específicos para medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes do sistema de transporte aéreo (ABNT NBR 16425-2, 2020).

Esta norma é válida para operações de decolagem, pouso, sobrevoo e voo pairado, e ela define como ruído de decolagem o ruído produzido pela operação de decolagem, que se inicia a partir do momento em que o som da aeronave passa a ser distinguido do som residual, e termina quando o som da aeronave deixa de ser distinguido do som residual, e esta definição é análoga para o ruído de pouso.

2.8.1.1 Medições

A norma sinaliza que as medições devem ser realizadas na frequência de 1 KHz, em ambientes externos às edificações e ao nível do solo. O sonômetro deve estar posicionado a distâncias mínimas de 2m de anteparos e à altura de 1,5m. Os ensaios, por sua vez, têm que respeitar as condições meteorológicas, como inexistência de precipitação pluviométrica e velocidade de vento inferior a 5m/s.

2.8.1.2 Monitoramento operacional de aeródromo e tempo de medição

Os locais de medição devem ser escolhidos de modo a minimizar o efeito de ruído residual, ou seja, sons oriundos de fontes não aeroportuárias.

As medições efetuadas devem permitir a obtenção do nível de pressão sonora representativo de operações aeronáuticas (ABNT NBR 16425-2, 2020). Para este estudo, foram realizadas três medições de dez minutos em cada ponto escolhido, que é um intervalo de tempo suficiente para obter a detecção de um evento sonoro de pouso ou decolagem, uma vez que há, em média, um movimento aeroportuário a cada 7 minutos. Não foi possível realizar medições longas no período dia e noite, pois alguns dos locais considerados fecham em determinados períodos do dia, enquanto que outros podem ser inseguros para uma permanência prolongada.

2.8.1.3 Nível de tolerância da comunidade

É o valor do nível sonoro no qual se estima que 50% das pessoas de uma comunidade estejam altamente incomodadas pela exposição ao ruído (ABNT NBR 16425-2, 2020). Esta

estimativa é feita mediante uma pesquisa de opinião na própria comunidade afetada pelo ruído aeronáutico. Os resultados podem ser visualizados através de pontos no plano cartesiano e, por meio de métodos matemáticos, determina-se uma curva que melhor ajusta tais pontos. Entretanto, até a data da publicação da referida norma, nenhum método teórico foi obtido para prever a curva supracitada para uma dada comunidade.

2.8.2 RBAC161/3

Para a aprovação de planos de zoneamento de ruído a ANAC estabeleceu o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 161, que traz requisitos para elaboração e aplicação dos referidos planos, incluindo diretrizes para garantir a compatibilidade do uso do solo nos arredores de aeródromos e suas áreas de influência. Além disso, orientações são também estabelecidas para o relacionamento entre operador do aeródromo, órgãos locais e comunidades do entorno, incluindo os seguintes aspectos: gerenciamento local do ruído aeronáutico, projeto de monitoramento de ruído, implementação de restrições operacionais em aeródromos, entre outros (ANAC, 2023).

O uso do solo é o resultado de toda atividade urbana ou rural, que implique em controle, apropriação ou desenvolvimento de atividades antrópicas em um espaço ou terreno (RBAC 161/3, 2021) e a compatibilidade do uso do solo deve estar de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 2.1: Nível de ruído permitido segundo RBAC 161/3 – Adaptada

Uso do solo	Nível de ruído médio dia-noite (dB)					
	AEA-01	AEA-02	AEA-03	AEA-04	AEA-05	AEA-06
	Abaixo de 65	65 - 70	70 - 75	75 - 80	80 - 85	Acima de 85
Usos públicos						
Estacionamentos	S	S	25	30	35	N
Usos recreacionais						
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	S	N	N	N
S (Sim) = usos do solo e edificações relacionadas compatíveis sem restrições						
N (Não) = usos do solo e edificações relacionadas não compatíveis.						
25, 30, 35 = usos do solo e edificações relacionadas geralmente compatíveis. Medidas para atingir uma redução de nível de ruído – RR de 25, 30 ou 35 dB devem ser incorporadas no projeto/construção das edificações onde houver permanência prolongada de pessoas						

3. CASO DE ESTUDO

3.1 PLANEJAMENTO DAS MEDIÇÕES

Neste trabalho, foram escolhidos três pontos para realizar as medições do nível de pressão sonora. A escolha levou em consideração as curvas delimitadas pelo plano de zoneamento específico de ruído aeronáutico. A coleta de dados se deu nas curvas amarela, azul e verde, cujos intervalos de níveis de pressão sonora são respectivamente: 65 – 70dB, 70 – 75dB e 75 – 80dB. A primeira área de medições, localizada na curva verde, foi a Praça

Torben de Alencastro Friedrich no dia 11/06/2023; o segundo local, na curva azul, foi o Boulevard Laçador na data de 11/06/2023; e o último ponto medido, na curva amarela, foi o Estacionamento do Condomínio Logístico Ponto a Ponto no dia 12/06/2023, conforme visto na Figura 3.1.

Figura 3.1: pontos de medição segundo curvas do PZER



3.2 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

As medidas dos níveis de pressão sonora foram realizadas com o auxílio de um sonômetro digital da marca Octava Plus, modelo All in one e calibrador da marca Octava Plus, modelo CR2 Plus. O sonômetro é composto de microfone capacitivo, pré-amplificador e protetor de vento CF-58. Foram utilizados tripé para auxiliar nas medições e cabo USB para transmitir os dados coletados.

O sonômetro adotado para realizar as medições está em consonância com a norma ABNT NBR 10151/2020 e possui os seguintes parâmetros:

- Sonômetro de Classe 1 em conformidade com as normas aplicadas;
- Medição: SPL, Lp, Leq, Lmin, Lmax, L05, L10, L50, L90, L95;
- Faixa de exibição: 30 dB a 130 dB;
- Faixa de frequência: 20Hz a 20kHz;
- Ponderação: A, C e Z (Linear);
- Resposta: Rápida (F) e Lenta (S), Impacto (I);
- Temperatura de operação: 0 a 65 °C;
- Umidade de operação: 0 a 95 %.

Para a realização das medições, foi adotada a norma ABNT NBR 16425/2020 como referência, foi usado o tripé na altura de 1,50 metros do chão e foram obedecidas as distâncias mínimas para anteparos abordadas na norma.

Primeiramente, o sonômetro foi instalado ao tripé, e nele foi inserido o pré-amplificador e acoplado o microfone. Depois o aparelho foi ligado, foi realizada a calibração em 114dB e, em seguida, colocado o protetor de vento e acionado o aparelho. O intervalo adotado entre a medição de cada nível de pressão sonora foi de 1 segundo. Após a finalização da medição foi realizada a calibração novamente em 114dB.

A fim de transmitir os dados coletados pelo sonômetro, foi utilizado o *software* CrifferSuite do próprio fabricante, onde são mostradas as datas, horários de início e término de medições, calibração inicial e final e os dados do nível de pressão sonora a cada segundo.

Para este estudo, foi utilizado o *software* CrifferSuite para realização do cálculo do ruído residual, onde não foi considerado o ruído gerado pelas aeronaves, e do nível de pressão sonora equivalente do período de medição.

3.3 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO

Para este estudo foram analisados três locais dentro do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho. Realizaram-se três medições em cada ponto por 10 minutos, compreendendo pelo menos um pouso ou uma decolagem neste intervalo de tempo, a fim de detectar o ruído gerado pelas aeronaves em sua chegada ou partida do destino.

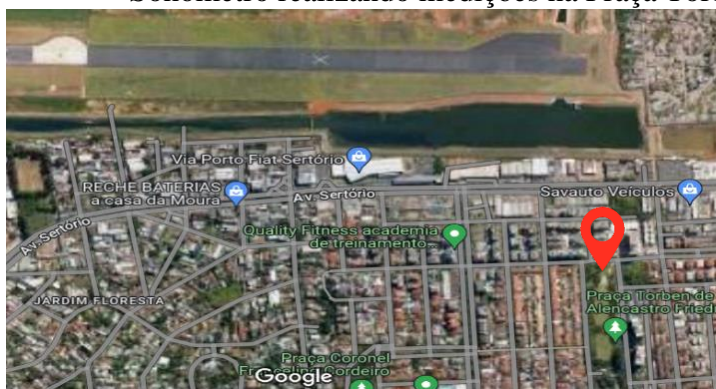
Para identificar as aeronaves consideradas, foi utilizado o serviço de Painel de Voo online disponibilizado pela Fraport, com o qual é possível verificar o número do voo pelo horário de pouso ou decolagem, e o aplicativo *FlighAware* para identificação da aeronave.

3.3.1 Praça Torben de Alencastro Friedrich

A primeira medição foi realizada na Praça Torben de Alencastro Friedrich (Figura 3.2), localizada na zona norte de Porto Alegre, e situada a aproximadamente 500 metros da cabeceira da pista de voo do aeroporto. A praça está situada em uma área residencial, com casas e prédios à sua volta. A medição observou a distância mínima para anteparos, tais como árvores e postes da praça. No dia da realização do ensaio, a temperatura era de 12°C no momento da medição, a umidade relativa estava em 93,6% e a velocidade do vento 2,05 m/s (METEORED, 2023).

Foram realizadas três medições no local, de 10 minutos cada. No primeiro ensaio foi verificado o pouso da aeronave da empresa Voe Pass, modelo ATR-72, cujo número do voo é 2Z2221. Na segunda verificação, foi identificado um pouso da empresa LATAM, aeronave Airbus A320, com o número do voo LA3800. A terceira medição contou com dois pousos, um da empresa aérea Gol, modelo Boeing 737 e número do voo G32008, e outro da empresa LATAM, modelo Airbus A320 e número de voo LA3158.

Figura 3.2: (a) Ponto de medição localizado na Praça Torben de Alencastro Friedrich. (b) Sonômetro realizando medições na Praça Torben de Alencastro Friedrich.



(a)



(b)

3.3.2 Boulevard Laçador

A segunda medição foi realizada no Boulevard Laçador (Figura 3.3), localizado no Bairro São João do município de Porto Alegre, a uma distância de aproximadamente 350 metros da cabeceira da pista de voo. O Boulevard Laçador é um complexo com restaurantes e áreas de lazer e fica a oeste do aeroporto Salgado Filho. No dia da realização da coleta de dados, a temperatura era de 14°C, a umidade relativa estava em 82,1% e a velocidade do vento em 3,08 m/s (METEORED, 2023), respeitando os parâmetros do equipamento utilizado.

Para este ponto, foram detectadas apenas decolagens. Na primeira medição foram identificadas duas decolagens, um voo da empresa LATAM, aeronave Airbus A319 e número do voo LA3677, e outro voo da empresa Voe Pass, modelo ATR-72 e número de voo 2Z2222. A segunda coleta de dados contou com uma decolagem da empresa Azul, modelo Airbus A320neo e número do voo AD4206. E a terceira medição contou com duas decolagens, uma da empresa LATAM, modelo Airbus A321 e número do voo LA3437, e outro voo da empresa aérea Azul, modelo ATR-72 e número do voo AD4391.

Figura 3.3: (a) Ponto de medição localizado no Boulevard Laçador (b) Sonômetro realizando medições no Boulevard Laçador



(a)

(b)

3.3.3 Estacionamento Condomínio Logístico Ponto a Ponto

O terceiro ponto medido foi o estacionamento do Condomínio Logístico Ponto a Ponto (Figura 3.4), localizado no bairro Sarandi da Zona norte de Porto Alegre, e situado a aproximadamente 300 metros da cabeceira da pista de voo. A área está estabelecida em um espaço com empresas do ramo de logística e de auto-peças. No momento das medições a temperatura era de 13°C, a umidade relativa estava em 47,1% e a velocidade do vento em 3,08 m/s (METEORED, 2023).

As medições realizadas neste local contaram com a ocorrência de pousos e decolagens. A primeira coleta de dados nesta área se refere a um pouso da empresa Gol, aeronave Boeing 737 e número de voo G31290. A segunda medição observou uma decolagem da Gol, cuja aeronave é um Boeing 737 com número de voo G31205 e, por fim, o último ensaio constatou uma decolagem da empresa LATAM, Airbus A320 e número de voo LA4517.

Figura 3.4: (a) Ponto de medição no Condomínio Logístico Ponto a Ponto. (b) Sonômetro realizando medições no Condomínio Logístico Ponto a Ponto.



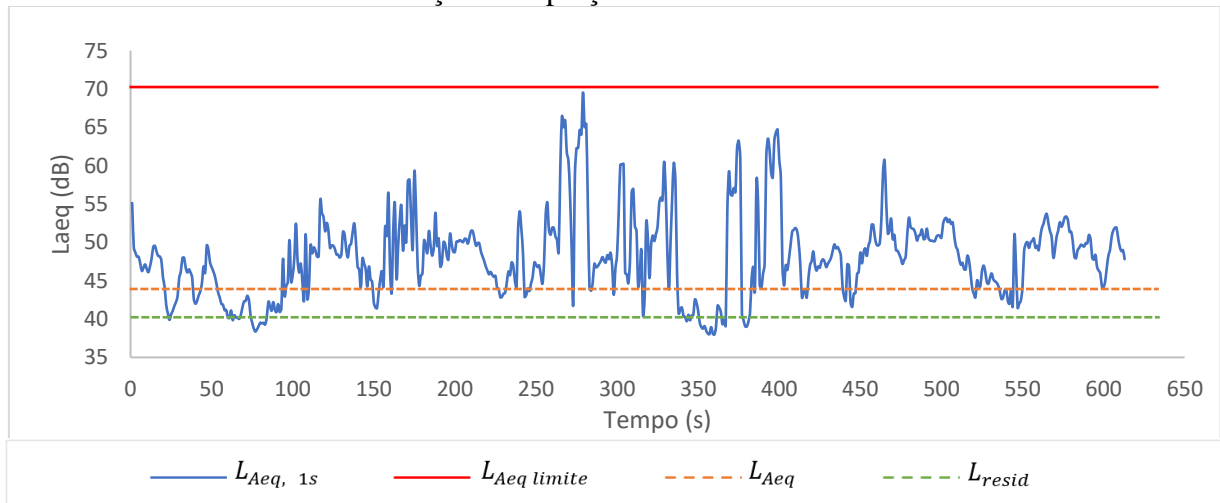
4. RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho apontam o $L_{Aeq,1s}$ medido durante 10 minutos nos processos de pousos e decolagens de diferentes aeronaves no Aeroporto Salgado Filho, com o intervalo de 1 segundo entre cada ponto medido, o nível de ruído residual, o nível de pressão sonora equivalente ponderado pela curva A.

4.1 PRAÇA TORBEN DE ALENCASTRO FRIEDRICH

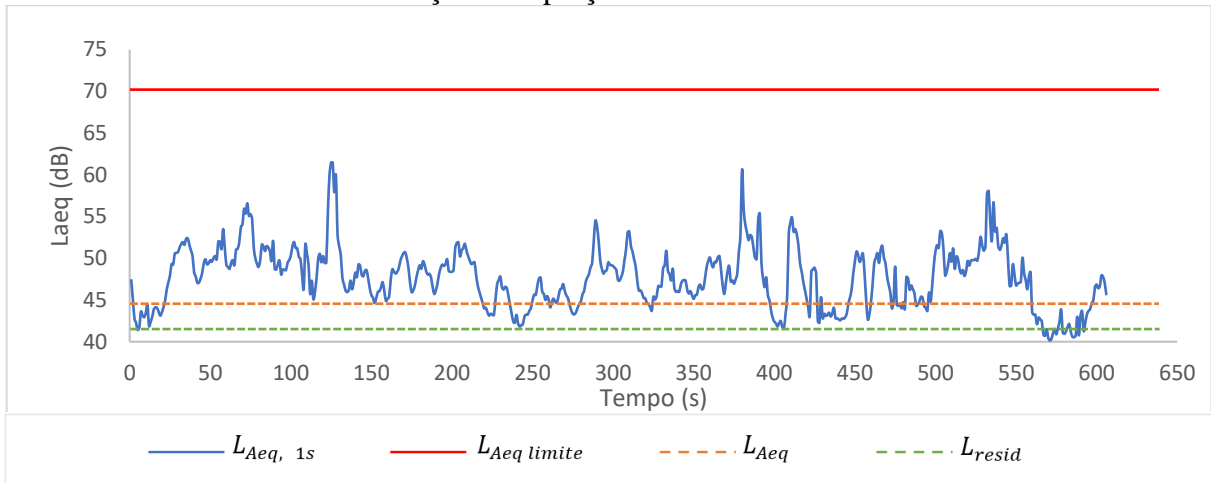
A primeira medição constatou um pouso de uma aeronave ATR-72 da empresa VoePass no intervalo de 198s a 209s, porém não é possível distingui-lo dos demais ruídos gerados, havendo interferência de movimentação de carros e cantar de pássaros na praça. Nesta medição o $L_{Aeq,1s,max}$ foi de 69,54 dB no instante 279s e o L_{Aeq} foi de 43,54 dB.

Gráfico 4.1: Medição 1 na praça Torben de Alencastro Friedrich



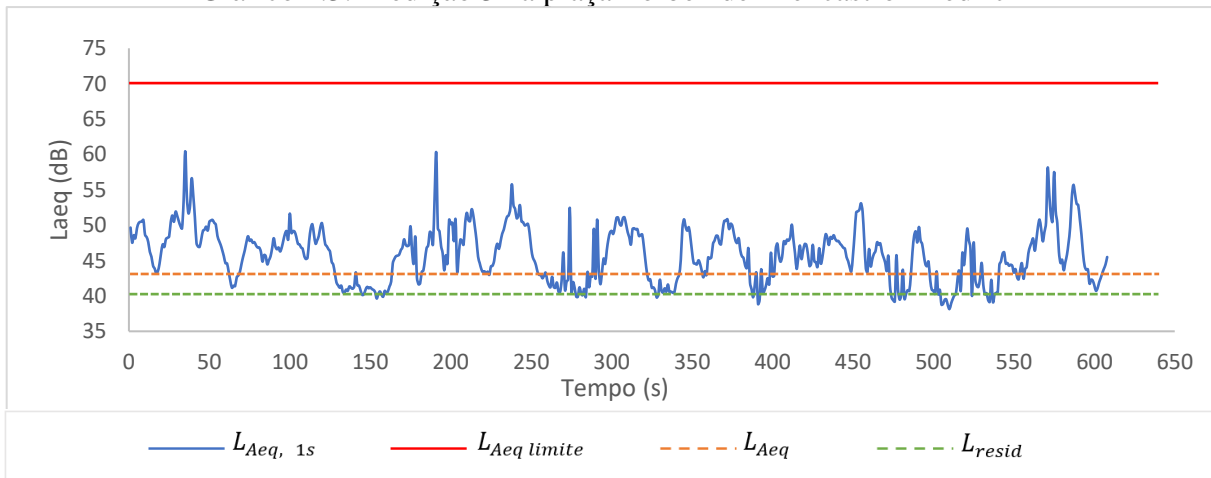
A segunda medição, representada pelo gráfico 4.2, contou com o pouso de uma aeronave Airbus A320 da empresa LATAM, no intervalo de 204s a 218s, também não sendo possível fazer uma distinção do ruído gerado por carros e pássaros do ruído gerado pela aeronave. Neste ensaio o $L_{Aeq,1s,max}$ foi de 61,47 dB no instante 126s e o L_{Aeq} medido foi de 43,56 dB.

Gráfico 4.2: Medição 2 na praça Torben de Alencastro Friedrich



A terceira medição, apresentada no gráfico 4.3, apontou o pouso de duas aeronaves, Boeing 737 e Airbus A320, das empresas Gol e LATAM nos intervalos de 369s a 380s e 582s a 593s, respectivamente, e não foi possível distinguir o ruído ambiental do ruído aeronáutico. Nesta medição o $L_{Aeq,1s,max}$ foi de 60,45 dB no instante 35s, e o L_{Aeq} foi de 42,42dB.

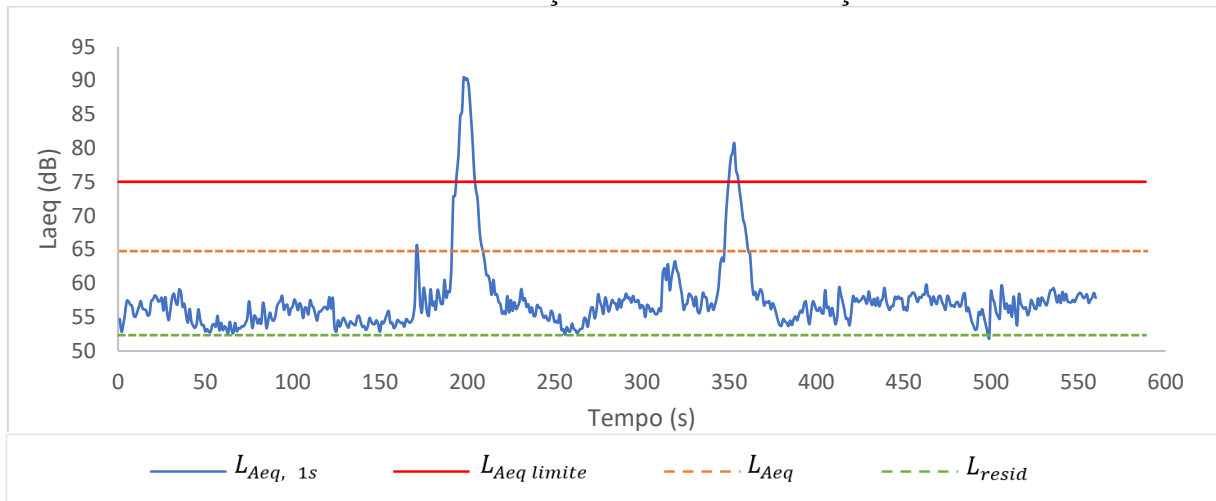
Gráfico 4.3: Medição 3 na praça Torben de Alencastro Friedrich



4.2 BOULEVARD LAÇADOR

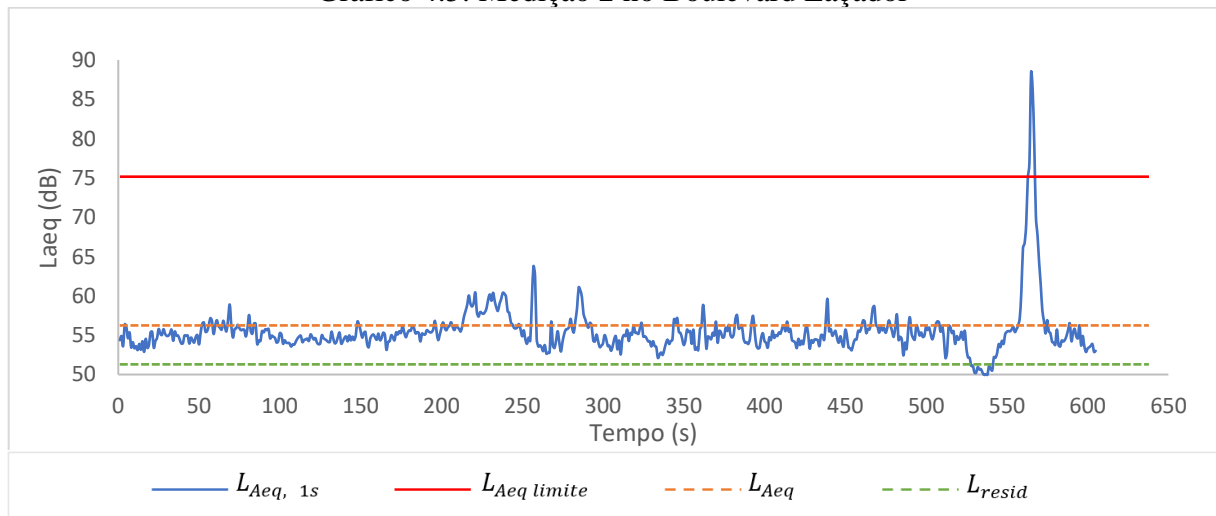
A primeira medição realizada no Boulevard Laçador, representada pelo gráfico 4.4, mostra a medição de duas decolagens das aeronaves Airbus A319 e ATR-72, das empresas LATAM e VoePass, nos intervalos de 191s a 209s e 347s a 360s, respectivamente. Neste ensaio é possível verificar claramente a distinção do ruído ambiental do ruído gerado pelas duas aeronaves. O $L_{Aeq,1s,max}$ gerado pelo Airbus A319 é 90,28dB no instante de 200s, e o $L_{Aeq,1s,max}$ ocasionado pela aeronave ATR-72 é de 80,70dB no instante 353s. O L_{Aeq} medido no período foi de 64,97 dB.

Gráfico 4.4: Medição 1 no Boulevard Laçador



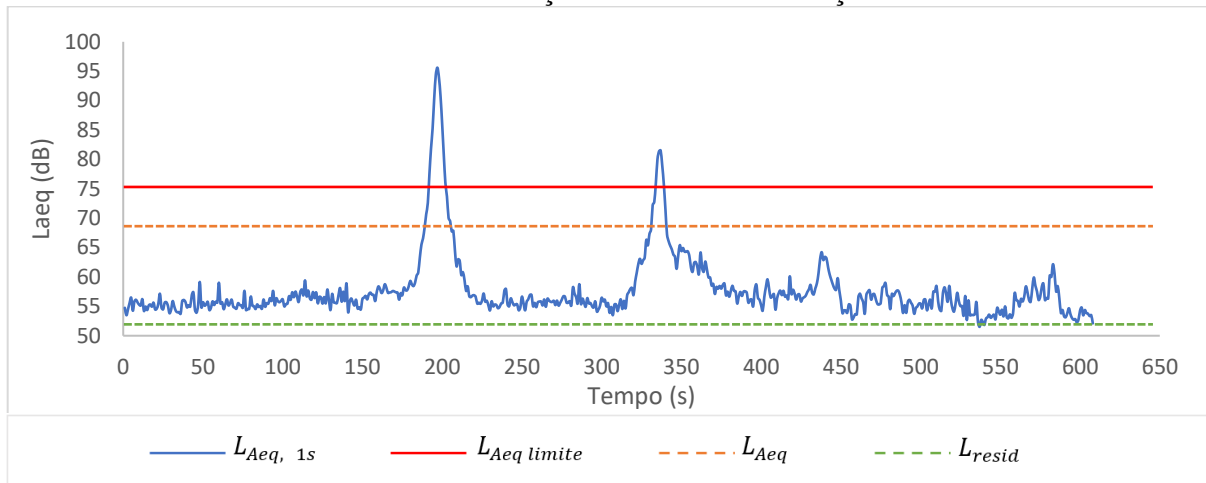
O segundo ensaio realizado, apresentado no gráfico 4.5, indica a medição de uma decolagem da aeronave Airbus A320 da empresa Azul entre os instantes de 558s e 573s. Nesta medição o $L_{Aeq,1s,max}$ gerado pelo Airbus A320 foi de 88,28dB no instante 565s. O L_{Aeq} medido no período foi de 55,88 dB.

Gráfico 4.5: Medição 2 no Boulevard Laçador



Na última medição realizada no Boulevard Laçador, foram observadas as decolagens de duas aeronaves, Airbus A321 e ATR-72, da LATAM e da Azul, nos intervalos de 185s a 207s e 321s a 342s, respectivamente, conforme mostra o gráfico abaixo. O $L_{Aeq,1s,max}$ ocasionado pelo Airbus A321 foi de 95,61dB e o do ATR-72 foi de 81,51dB. O L_{Aeq} foi de 68,08 dB.

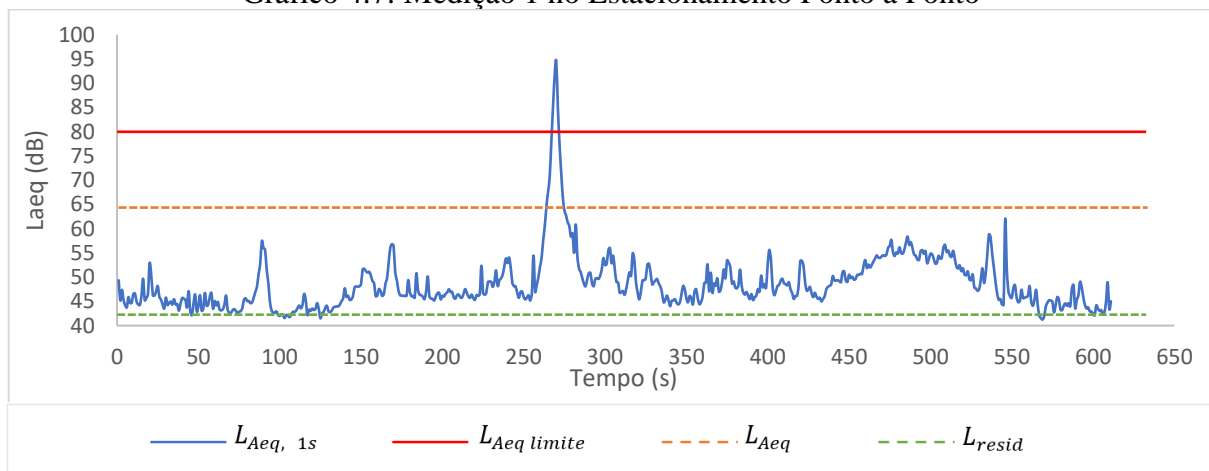
Gráfico 4.6: Medição 3 no Boulevard Laçador



4.3 ESTACIONAMENTO PONTO A PONTO

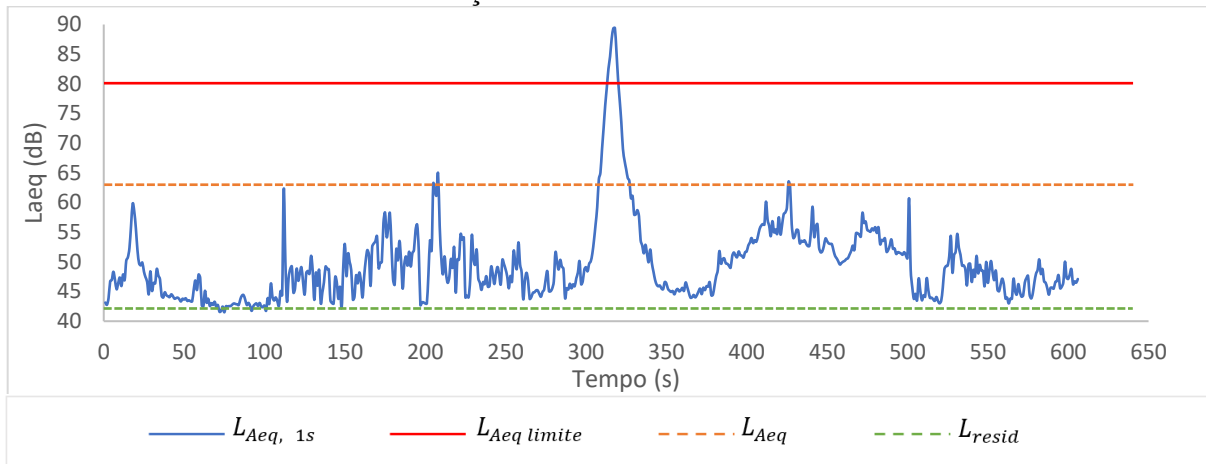
A primeira medição efetuada no Estacionamento Ponto a Ponto, apresentada no gráfico 4.7, refere-se ao pouso de um Boeing 737 da empresa Gol no intervalo de 261s a 278s. Neste ensaio o $L_{Aeq,1s,max}$ gerado pela aeronave foi de 94,57dB no instante 270s. O L_{Aeq} medido no período foi de 64,74 dB.

Gráfico 4.7: Medição 1 no Estacionamento Ponto a Ponto



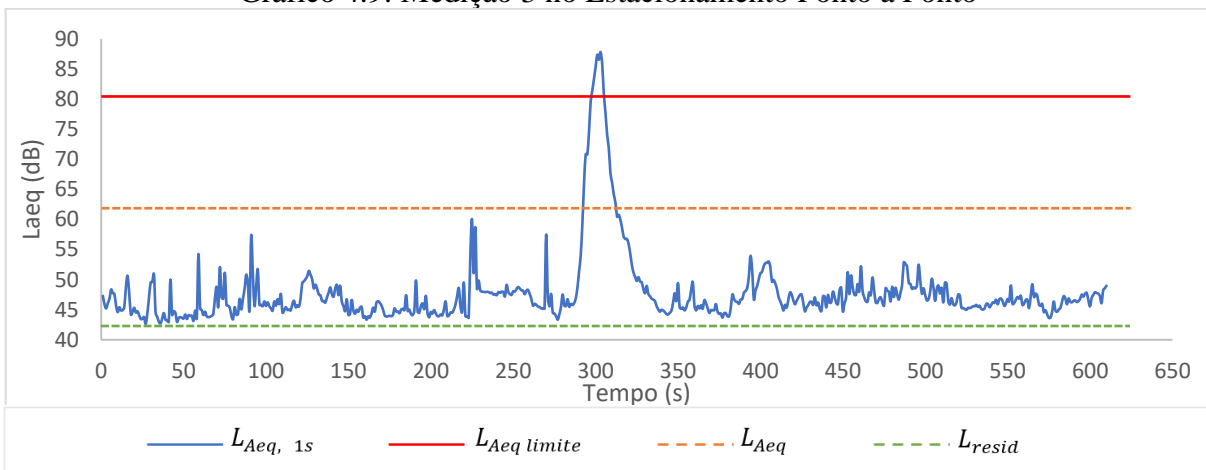
O segundo ensaio realizado, apresentado no gráfico 4.8, corresponde à medição de uma decolagem de um Boeing 737 da empresa Gol no intervalo de 304s e 332s. É possível verificar, através do gráfico abaixo, a diferenciação do ruído aeronáutico do ruído ambiental. O $L_{Aeq,1s,max}$ gerado pelo Boeing 737 foi de 89,41dB no instante 318s. O L_{Aeq} medido no período foi de 62,71 dB.

Gráfico 4.8: Medição 2 no Estacionamento Ponto a Ponto



A última medição realizada no Estacionamento Ponto a Ponto, representada pelo gráfico 4.9, demonstra a medição de uma decolagem de um Airbus A320 da empresa LATAM no intervalo de 291s a 314s. No ensaio, o $L_{Aeq,1s,max}$ ocasionado pelo Airbus A320 é 87,8dB no instante de 303s. O L_{Aeq} medido no período foi de 61,58 dB.

Gráfico 4.9: Medição 3 no Estacionamento Ponto a Ponto



4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS AERONAVES CONSIDERADAS

Com as medições realizadas nos pontos considerados, obtém-se o quadro resumo abaixo, com a situação da aeronave, a companhia aérea, o modelo da aeronave, o número do voo e o nível de pressão sonora máximo.

Tabela 4.1: aeronaves com o nível de pressão sonora medido

Ponto de medição	Situação	Empresa	Modelo da aeronave	Número do voo	$L_{Aeq,1s,max}$ dB	L_{Aeq} dB
Praça Torben de Alencastro Friedrich	Pouso - Medição 1	Voe Pass	ATR-72	2Z2221	50,46	43,54
	Pouso - Medição 2	LATAM	Airbus A320	LA3800	51,74	43,56
	Pouso - Medição 3	Gol	Boeing 737	G32008	50,82	42,42
		LATAM	Airbus A320	LA3158	55,7	

Boulevard Laçador	Decolagem - Medição 1	LATAM	Airbus A319	LA3677	90,28	64,97
		Voe Pass	ATR-72	2Z2222	80,7	
	Decolagem - Medição 2	Azul	A320neo	AD4206	88,28	55,88
	Decolagem - Medição 3	LATAM	Airbus A321	LA3437	95,61	68,08
Azul		ATR-72	AD4391	81,51		
Estacionamento do Condomínio Logístico Ponto a Ponto	Pouso - Medição 1	Gol	Boeing 737	G31290	94,57	64,74
	Decolagem - Medição 2	Gol	Boeing 737	G31205	89,41	62,71
	Decolagem - Medição 3	LATAM	Airbus A320	LA4517	87,8	61,58

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi analisado e apresentado o estudo do nível de pressão sonora nas zonas especiais aeroportuárias ao redor do Aeroporto Internacional Salgado Filho.

Na medição realizada na Praça Torben de Alencastro Friedrich, não foi possível distinguir os ruídos gerados pelos pousos das aeronaves do ruído ambiental. Constatou-se que o nível de pressão sonora produzido por carros e pássaros, $L_{Aeq,1s,max}$, é superior ao ruído aeronáutico. A praça encontra-se a, aproximadamente, 500m da cabeceira da pista de pousos e decolagens, e é uma região que contém diversos edifícios, casas e árvores altas, que funcionam como anteparos e absorventes de ruído.

No segundo local de medição, o Boulevard Laçador, não foi possível constatar a conformidade ou desconformidade com as normas mencionadas neste trabalho, pois o tempo de medição realizado não foi o mais adequado, visto que o RBAC 161/3 sugere que sejam realizadas medições por períodos prolongados. É possível observar que, quanto maior a amostragem, isto é, quanto maior é o número de pousos e decolagens medidos, melhor é o resultado obtido. Com efeito, os valores de L_{Aeq} correspondentes à detecção de dois eventos aeronáuticos diferem-se dos resultados encontrados para a detecção de somente um evento aeronáutico.

O ensaio realizado no Estacionamento Ponto a Ponto contou com a medição de um pouso e duas decolagens, e foi o ponto mais próximo da cabeceira da pista do aeroporto, a uma distância de aproximadamente 300m, apresentando maior $L_{Aeq,1s,max}$ dentre todos os pontos medidos.

Para futuros estudos, recomenda-se que sejam efetuadas medições e avaliações do nível de pressão sonora em outros pontos das regiões do PEZR e que seja realizada a pesquisa de opinião com a comunidade afetada pelo ruído, a fim de detectar o nível de tolerância de ruído da comunidade, por meio da obtenção da curva de ruído tolerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral – ABNT NBR 10151**, p.9, 2020.
- ABNT. **Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transporte, parte 2: sistema de transporte aéreo – ABNT NBR 16425 -2/2020** p.8, 2020.
- ANAC – **Planos específicos de zoneamento de ruído**, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aerodromos/planejamento-aeroportuario/PZRREGISTRADOS.pdf>>. Acessado em: 01/06/2023.
- BISTAFA. S. R.; **Acústica aplicada ao controle do ruído**, Bluncher, 3º edição, São Paulo, p.37, 2018.
- DINATO, Antonio Carlos. **Ruído sonoro no entorno de aeroportos**. Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto. [s. l.], p. 161, 2011.
- FLIGH AWARE – **Rotas de aeronaves**, 2023. Disponível em: <<https://pt.flightaware.com/live/>>. Acessado em: 11/06/2023
- FRAPORT - **Movimentação aeroportuária**, 2023. Disponível em: <<https://portoalegre-airport.com.br/pt/informacoes-operacionais/movimentacao-aeroportuaria>>. Acessado em: 11/06/2023
- GERGES, Samir N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. NR Consultoria e treinamento, 2º edição, p. 98, 2000.
- GRAMACHO, Bruna Gunther. **Avaliação dos níveis de pressão sonora no entorno do aeroporto salgado filho durante operações de decolagem e pouso**. p.8, 2019.
- MIGUEL, Letícia Fleck Fadel; TAMAGNA, Alberto. **Tópicos de Acústica Aplicada Notas de Aula de ENG03015 - Acústica Aplicada.pdf**, 1º edição, Porto Alegre, p.24, 2007.
- METEORED – **Previsão do tempo**, 2023. Disponível em: <<https://www.tempo.com/porto-alegre-sactual.htm>>. Acessado em: 23/06/2023
- NABINGER. L. B.; **Medições de ruído aeronáutico dentro da área II do plano específico de zoneamento de ruído do aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre/RS**, p. 138, 2005.
- PROCEMPA – **Informações estatísticas**, 2010. Disponível em: <http://portoalegremanalise.procempa.com.br/?regiao=100_0_0>. Acessado em: 15/06/2023
- RBAC. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil 161/3 – RBAC 161/3**, p. 5, 2021.
- SALIBA, T. M.; **Manual prático de avaliação e controle de ruído**, Ltr, 10º edição, p. 57, 2018.