

## **Mapeamento de ruído aeroviário: Aeroporto Bacacheri**

**Daniel de Oliveira e Souza**

Mestre em Engenharia Ambiental, UFPR, Brasil  
daniccr@gmail.com

**Paulo Henrique Trombetta Zannin**

Professor Doutor-Ing., UFPR, Brasil.  
zannin@ufpr.br

## RESUMO

Ruído nada mais é do que a poluição atmosférica causada pelo aumento da vibração no ar. Ruído ambiental é o ruído no ambiente gerado por diversas fontes simultâneas, com exceção do ruído ocupacional, destacando-se o ruído rodoviário, ruídos de construção civil, ruído ferroviário e o ruído aeroviário. Ruído aeroviário é o ruído gerado principalmente na operação de aeronaves em aeroportos. A exposição ao ruído aeroviário causa inúmeros danos na qualidade de vida, saúde e bem estar da população próximas a aeroportos. Como toda forma de poluição, o ruído também deve ser gerenciado, utilizando metodologias para identificar as fontes e receptores, destacando-se, dentre as metodologias existentes, a medição do ruído do ambiente e o mapeamento acústico da área. O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de ruído aeroviário na área diretamente afetada pelo Aeroporto Bacacheri, em Curitiba, através de medição de parâmetro acústico e mapeamento acústico. Para isso, utilizou-se o analisador sonoro Bruel & Kjaer 2238 para medição do ruído aeroviário e para o mapeamento acústico utilizou-se o software Soundplan 8.0. Os resultados indicam que há ruído aeroviário intenso a moderado na área circunvizinha do aeroporto Bacacheri, bem como quantificam a população exposta pela poluição sonora gerada no aeroporto sendo afetadas pelos impactos negativos. Conclui-se que há a necessidade do aeroporto prever medidas de mitigação do ruído recomendadas pelo Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO).

**PALAVRAS-CHAVE:** Ruído aeroviário. Mapeamento acústico. Gestão de ruído.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o transporte aéreo é um dos eixos estruturais triviais para o desenvolvimento econômico de cidades, estados e até no âmbito nacional (ALONSO et al., 2017). A operação de aeroportos possui vantagens e desvantagens: na mesma medida que estimula o desenvolvimento econômico da região onde está inserido, gera impactos ambientais negativos na comunidade circunvizinha. Dentre os impactos causados destaca-se o aumento da poluição atmosférica pela emissão gasosa e da poluição sonora. O nível de emissão de ruído da aeronave durante a fase inicial da decolagem é influenciado por vários parâmetros (GAGLIARDI et al., 2018), como a potência e tipo da aeronave, a velocidade máxima, o tipo de material da pista de decolagem, a distância dos receptores da fonte, condições climáticas, tempo de decolagem etc. O ruído aeronáutico é um grave problema ambiental e que tem sido estudado intensivamente ao longo dos anos (FLORES et al., 2017). Os impactos da exposição prolongada ao ruído aeroviário podem causar distúrbios no sono, doenças cardiovasculares, danos no sistema auditivo, estresse, redução de desempenho profissional ou educacional e alterações comportamentais (SANTÉ, 2016).

Como qualquer outra fonte de poluição, o ruído deve ser controlado e mitigado, aplicando-se instrumentos de gestão de ruído. Para isso, primeiramente deve-se identificar e quantificar a poluição gerada bem como identificar e estimar os receptores expostos a ela. A identificação e quantificação da poluição pode ser realizada através de medição de parâmetros e mapeamento acústico do local.

Mapas de ruído são a representação de um ambiente de interesse cuja função é identificar quantitativa e qualitativamente a população exposta a um dado indicador de ruído através de contornos e áreas coloridas para cada nível do indicador em intervalos pré-definidos (EPA, 2011; OZKURT 2015). Os mapas acústicos são criados a partir de modelagens computacionais que calculam a propagação do som em ambientes abertos gerado por fontes específicas. Cada modelo tem sua própria particularidade, mas em geral, os dados básicos de entrada são: topografia do local, edificações, vegetações, corpos hídricos, condições climáticas, elementos absorvedores de som e outros detalhes relevantes em função da fonte sonora de

interesse (EPA, 2011). O mapeamento acústico, ou mapeamento estratégico de ruído, é fundamental no diagnóstico de áreas afetadas por atividades geradoras de ruídos, pois permite a identificação dos locais, pontos e receptores críticos e áreas expostas bem como o valor atribuído, auxiliando na tomada de decisões referentes à gestão do ruído (ZANNIN, 2019), e sua utilização vem crescendo em diversas partes do mundo (NASCIMENTO et al, 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a existência de ruído ambiental na área diretamente afetada pela atividade do Aeroporto Bacacheri, em Curitiba, através de medição de parâmetros e mapeamento acústico.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em três etapas: coleta de dados e planejamento, medição de parâmetro acústico e mapeamento acústico.

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Aeroporto Bacacheri (SBB1) é um aeroporto de pequeno-médio porte localizado no Bairro Bacacheri, município de Curitiba/PR. É composto de uma única pista de operações, com atividade aeroviária de voos executivos de táxi aéreo, transporte de cargas e aero escola com fluxo anual de passageiros de aproximadamente 300.000.

O Bairro Bacacheri é um bairro predominantemente residencial, com atividades econômicas voltadas ao comércio e a prestação de serviços além da presença da vila militar. De acordo com a Lei Municipal nº 9800/2000, o zoneamento do Aeroporto Bacacheri é ZE-M e a região circunvizinha apresenta zoneamento ZR-1, ZR-3 e ZR-4. O zoneamento da região é importante pois o município de Curitiba possui a Lei Municipal nº 16.625/2002 que estabelece os limites de ruído no local conforme o zoneamento e o período do dia. A mesma Lei determina que dentro de um raio de 200 m de distância de escolas e centros de saúde, considera-se ZR-1.

Os limites de ruído conforme zoneamento podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 1: Limites de ruído por zoneamento no período diurno**

| Zona                   | Limite diurno (dB(A)) |
|------------------------|-----------------------|
| ZR-1, ZR-2, ZR-3       | 55                    |
| ZE-M                   | 60                    |
| ZT-LV, SE-LV, ZR-4, SE | 65                    |

Fonte: ADAPTADO DA LEI Nº 16.625, 2002.

### 2.2 TRÁFEGO AÉREO

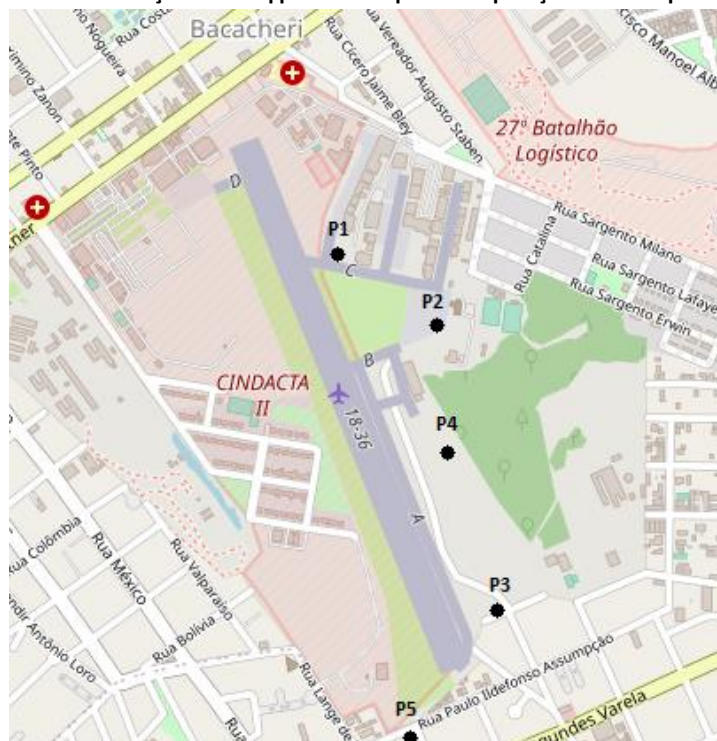
A quantificação e a identificação dos modelos de aeronaves operantes no aeroporto foram obtidas referente ao ano de 2018 através do relatório anual disponibilizado pelo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego II (CINDACTA II). O tráfego aéreo anual do aeroporto indica 7.140 operações com fluxo aéreo distribuído majoritariamente entre 8h e 18h, com horário de pico no intervalo entre 10h e 11h, seguido de 13h e 15h, distribuídas de maneira semelhante entre os dias da semana, constituída por: 80 % do fluxo de aeronaves monomotoras,

18 % de aeronaves bimotoras e 2 % de aeronaves a jato, sendo os modelos AB11 e C152, modelos de aeronaves monomotoras, representando mais de 55 % do tráfego aéreo no ano. Os modelos e a quantificação das aeronaves são fundamentais, pois, são utilizadas como dado de entrada para o mapeamento acústico.

### 2.3 MEDIÇÃO DE PARÂMETROS

Para a definição dos pontos de medição, foi considerada a distância da pista de operações, pois, como Aeroporto Bacacheri é de pequeno a médio porte, com aeronaves menos potentes de tipo monomotoras, deve-se considerar a influência de outras fontes sonoras no ambiente que possam superestimar a medição, pois, quanto mais longínqua da origem do ruído aeroviário for a medição, maior a probabilidade do valor obtido na medição estar sujeito à outras fontes de poluição sonora (SARI et al, 2014). Diante disto, definiu-se 5 pontos de medição de parâmetros, todos próximos a pista de operações a fim de reduzir os efeitos de outros ruídos presentes no ambiente. Para medição de parâmetro acústicos, utilizou-se o Analisador Sonoro Bruel & Kjaer modelo 2238, previamente calibrado pelo calibrador Bruel & Kjaer modelo 4231. Os locais dos pontos de medição podem ser observados na Figura 1:

**Figura 1: Pontos de medição de LAeq próximos a pista de operações do Aeroporto Bacacheri**



Fonte: ADAPTADO DE OPEN STREET MAP, 2019

O parâmetro mensurado foi o Nível de Pressão Sonora Equivalente (LAeq) durante o período diurno, com duração de 1 hora e foram medidos seguindo as recomendações da NBR 13.368/1995 e NBR 10.151/2019 sendo elas: proteção do efeito do vento no microfone, altura do medidos a 1,20 m do solo, distância de no mínimo 3m de quaisquer superfícies refletoras e

absorvedoras de som, boas condições climáticas, medição simultânea do ruído de fundo, relacionar o tipo de aeronave e medir em superfícies planas. Pode-se observar algumas das medições realizadas in situ na Figura 2.

**Figura 2: Medição de LAeq, pontos 1 e 3**



Fonte: O AUTOR, 2019.

## **2.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO**

### **2.4.1 DEFINIÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO**

O mapeamento acústico é composto de duas etapas: pré-processamento e pós-processamento. A etapa de pré-processamento consiste na preparação do modelo antes de executar os cálculos computacionais. Para isso, deve-se criar o cenário físico da região de interesse, inserindo-se os pontos altimétricos e criando-se o modelo digital de terreno, digitalizando-se todos os elementos ambientais da área, como rodovias, vegetações, edificações, criação do elemento aeroporto e inserção do tráfego aéreo. Após, define-se o método de cálculo e a malha de cálculo para finalmente executar os cálculos computacionais. Para o mapeamento acústico do Aeroporto Bacacheri utilizou-se o Software *SoundPlan 8.0*, módulo *Aircraft noise* e o modelo de cálculo definido para a realização do mapeamento acústico foi o modelo ECAC.CEAC doc. 29 de 1997 da Confederação Europeia de Aviação Civil (CEAC), modelo amplamente utilizado na confecção de mapas de ruído na Europa (HAMANCI et al, 2017; OZKURT, 2014; SARI et. al, 2014). A malha de cálculo adotada foi de 2x2 m.

### **2.4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO**

Etapa fundamental do trabalho, a validação do modelo matemático indica o quão próximo está o mapeamento simulado com a situação real, portanto, sempre após a confecção do mapa de ruído, o mesmo deve ser validado. A validação do modelo tem função de atestar a veracidade da simulação através da comparação dos valores simulados no modelo com parâmetros medidos *in situ*. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2011) sugere que a diferença máxima entre o valor simulado e o valor medido seja de até  $\pm 2$  dB(A).

### 3. RESULTADOS

O resultado das medições *in situ* nos pontos de medição podem ser observados na Tabela 2, sendo comparados com os valores simulados no mapeamento acústico. Nos 5 pontos medidos, somente a medição do ponto 4 está fora das recomendações da APA (2011). Sari et al (2014) encontraram diferenças de até 7 dB(A), Gerolymatou et al (2019) encontraram diferenças de 2,5 a 23 % e Licitra et al (2014) obtiveram variações de 3 a 6 dB(A) e, após calibração do modelo, obtiveram variação máxima de 1,7 dB(A). No modelo utilizado, encontrou-se variação absoluta entre 0,6 a 2,5 dB(A), bem como erro relativo máximo de 4,16 %, então, diante disto, considera-se que o modelo está válido.

**Tabela 2: Valores obtidos na medição *in situ* e comparados com os valores simulados**

| Ponto | Valor medido (dB(A)) | Valor simulado (dB(A)) | Diferença entre medidos e simulados (dB(A)) | Erro Relativo (%) |
|-------|----------------------|------------------------|---|-------------------|
| 1     | 67,1                 | 66,2                   | 0,7   | 1,19              |
| 2     | 57,0                 | 58,8                   | -1,8  | 3,15              |
| 3     | 71,0                 | 69,3                   | 1,7   | 2,39              |
| 4     | 60,0                 | 62,5                   | -2,5  | 4,16              |
| 5     | 63,6                 | 64,2                   | -0,6  | 0,90              |

Fonte: O AUTOR, 2019.

Através do Mapeamento acústico foi possível identificar os receptores bem como estimar os habitantes expostos a poluição sonora por faixas de ruído, conforme Tabela 3. Como o menor valor máximo permitido por zoneamento da área ao redor do aeroporto foi de 55 dB(A), em zonas de silêncio (ZR-1), o mapeamento foi confeccionado identificando as áreas atingidas a partir desta curva isofônica do ruído aeroviário, além de indicar através de círculos a presença de pontos críticos ao ruído, como escolas e centros de saúde. O mapeamento acústico pode ser observado na Figura 3.

**Tabela 3: Quantificação dos receptores afetados pela poluição sonora do Aeroporto Bacacheri até 55 dB(A).**

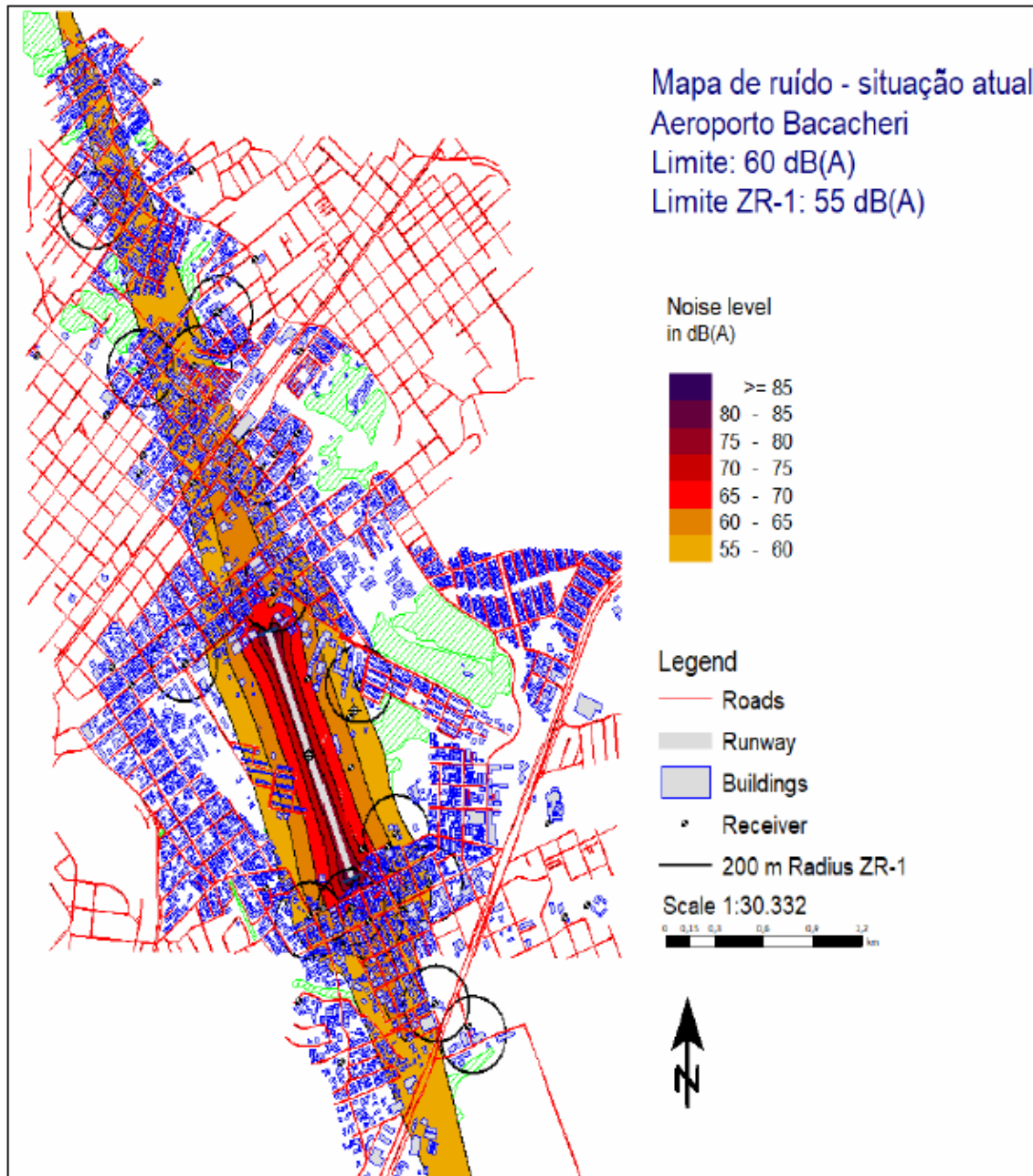
| LAeq (dB(A)) | Escolas | Centros de saúde | Área (m <sup>2</sup> ) | Empreendimentos | População (habitantes) |
|--------------|---------|------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| 85-80        | -       | -                | 13.825                 | -               | -                      |
| 80-75        | -       | -                | 108.390                | 8               | 20                     |
| 75-70        | -       | -                | 302.733                | 36              | 60                     |
| 70-65        | -       | -                | 613.054                | 229             | 1.600                  |
| 65-60        | 3       | 1                | 1.346.753              | 1.150           | 4.500                  |
| 60-55        | 4       | -                | 4.462.360              | 4.410           | 15.250                 |

Fonte: O AUTOR, 2019

É possível perceber, pelas medições de LAeq e pelo mapeamento acústico que há a ocorrência de poluição sonora oriunda das atividades do Aeroporto Bacacheri, na qual impacta negativamente a população do seu entorno, degradando a qualidade de vida e o bem estar social, além de afetar diretamente nas atividades escolares da região. É importante destacar que

os habitantes identificados nas faixas de poluição acima de 70 dB(A) encontram-se muito próximos às cabeceiras da pista de operação, locais onde as aeronaves decolam.

Figura 3: Mapeamento acústico do Aeroporto Bacacheri.



Fonte: O AUTOR, 2019.

De acordo com a ICAO (2007), para reduzir ou eliminar o ruído aeroviário, o aeroporto deve prever um programa de metas de redução de ruído, nominado Balanço Equilibrado, ou, *balanced approach*. O programa consiste na identificação das fontes e etapas geradoras de ruído no aeroporto através do monitoramento e quatro instrumentos que interagem entre si, sendo eles:

1) redução de ruído na fonte: consiste na redução do ruído no sistema de propulsão ou na estrutura aerodinâmica da aeronave. As aeronaves possuem certificados de emissão de ruídos, e, em função disso, o aeroporto pode propor políticas internas de permitir apenas aeronaves com certificados de ruídos atualizados;

2) gestão de uso e ocupação do solo: a área circunvizinha do aeroporto, preferencialmente, não deve ser habitada e muito menos densamente habitada em função dos impactos negativos, portanto, para isso acontecer, deve haver uma articulação prévia entre a instalação de um aeroporto com os governantes locais de maneira a prever um zoneamento urbano social e ambientalmente adequado. Para o caso do Aeroporto Bacacheri, como já há a consolidação urbana ao redor do aeroporto, não há a possibilidade de realocação de moradores, entretanto, há a possibilidade de uma articulação entre o aeroporto e a prefeitura de maneira a discutir e propor alterações nos regulamentos de ruído do município de Curitiba.

Esta articulação envolve a adaptação do local considerando a existência do aeroporto, consolidado há anos no município, evidenciando aos moradores já existentes e aos futuros habitantes, que no local há um empreendimento gerador de poluição sonora, considerando que o local seja classificado como um zoneamento compatível com seu uso e ocupação do solo;

3) amortecimento de ruído em procedimentos operacionais: consiste no conjunto de procedimentos operacionais no aeroporto para reduzir o ruído gerado na pista, entre eles, a priorização criar cabeceiras mais distantes de zonas habitadas, reboque de aviões por caminhos até a garagem, priorizar decolagens mais íngremes ao invés de longas distâncias percorridas no solo entre outros;

4) restrições operacionais: baseia-se na implementação de restrições operacionais no aeroporto, como por exemplo, a restrição de autorização para aeronaves com certificados de ruído defasados, ou a restrição da circulação de aeronaves específicas em faixas de horários pré-definidos e número máximo de operações diárias.

#### **4. CONCLUSÃO**

O mapeamento indica que a área e a população do entorno do Aeroporto Bacacheri estão sujeitos a efeitos adversos na saúde como perturbações no sono, sinais de irritação, zumbidos no ouvido, dores de cabeça, desânimo e perda parcial ou total da audição devido à exposição a ruídos acima de 55 dB(A), aos quais, se permanecerem expostos por mais tempo, maiores serão os danos à saúde. Destaca-se a presença de escolas e centros de saúde expostos a poluições sonoras acima do permitido, locais estes os quais são considerados pontos sensíveis ao ruído devido à sua funcionalidade social. Diante dos resultados, considerando a importância socioeconômica do aeroporto, conclui-se que o aeroporto deve focar na prevenção através da criação de medidas de redução de ruído de maneira a mitigar a poluição gerada, baseadas nas diretrizes e instrumentos recomendados pelo ICAO. Além disso, os resultados indicam que o mapeamento acústico apresenta grande utilidade para gestão da poluição sonora e desenvolvimento e planejamento urbano.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte no desenvolvimento deste trabalho através de bolsas de fomento à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 13368 – **Ruído gerado por aeronaves**: monitoração. Rio de Janeiro. 1995. 2 p.
- ABNT. NBR 10151 – **Acústica**: Avaliação de ruído em áreas habitadas – aplicação de uso geral. 2 ed. 2019. 24 p.
- ALONSO, Gustavo; BENITO, A.; BOTO, L. **The efficiency of noise mitigation measures at European airports**. World Conference On Transport Research Society, Madrid, v. 25, n. 1, p.103-135, jun. 2017.
- AMBIENTE, Agência Portuguesa do (Org.). **Diretrizes para elaboração de Mapas de Ruído**. 3. ed. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente, 2011. 31 p.
- BRASIL (Município). **Lei nº 9800** de 2000. Curitiba, PR.
- BRASIL (Município). **Lei nº 16625** de 2002. Curitiba, PR.
- EPA – Environmental Protection Agency. **Guidance note for strategic noise mapping**: for the Environmental Noise regulations 2006. Wexford. 2011. Disponível em: <[https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPAGuidanceNoteforStrategicNoise Mapping\(version 2\).pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPAGuidanceNoteforStrategicNoiseMapping(version2).pdf) > Acesso em: 14 de junho de 2020.
- FLORES, R. *et al.* **A Case Study of the Influence of Urban Morphology on Aircraft Noise**. Acoustics Australia, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 389-401, ago. 2017. Springer Science and Business Media LLC.
- GAGLIARDI, Paolo; TETI, Luca; LICITRA, Gaetano. **A statistical evaluation on flight operational characteristics affecting aircraft noise during take-off**. Applied Acoustics, Pisa, v. 1, n. 134, p. 8-15, jan. 2018.
- GEROLYMATOU, Gerogia *et al.* **Assessing Health Effects and Soundscape Analysis as New Mitigation Actions Concerning the Aircraft Noise Impact in Small- and Middle-Size Urban Areas in Greece**. Environments, Volos, v. 4, n. 6, p.1-15, jan. 2019
- HAMANCI, S. F. *et al.* **Determining characteristics of lands affected by noise pollution of airports**. Fresenius Environmental Bulletin, Kocaeli, v. 26, n. 1, p.69-74, jan. 2017.
- ICAO – International Civil Aviation Organization. **Environmental Report**. 2007.
- LICITRA, Gaetano *et al.* **Noise mitigation action plan of Pisa civil and military airport and its effects on people exposure**. Applied Acoustics, Pisa, v. 84, n. 1, p.25-36, fev. 2014.
- NASCIMENTO, Eriberto Oliveira do *et al.* **Noise prediction based on acoustic maps and vehicle fleet composition**. Applied Acoustics, Curitiba, v. 174, n. 107803, p. 1-9, mar. 2021.
- OZKURT, Nesimi. **Current assessment and future projections of noise pollution at Ankara Esenboga Airport, Turkey**. Transportation Research: Part D, Kocaeli, v. 32, p.120-128, out. 2014.
- OZKURT, N.; HAMANCI, S. F.; SARI, D.. **Estimation of airport noise impacts on public health**. A case study of Izmir Adnan Menderes Airport. Transportation Research: Part D, Kocaeli, v. 36, n. , p.152-159, mar. 2015.
- SANTÉ, GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. **The effects of environmental noise on health**. Disponível em: <<http://sante.gouv.qc.ca/en/problemes-de-sante/effets-du-bruit-environnemental-sur-la-sante/effets-du-bruit-environnemental-sur-la-sante-physique/>>. Acesso em 31 out. 2018.

SARI, Deniz et al. **Measuring the levels of noise at the İstanbul Atatürk Airport and comparisons with model simulations.** Science of The Total Environment, Kocaeli, v. 483, n. 482, p.472, 2014.

ZANNIN, Paulo H. T.; do Valle, F ; NASCIMENTO, E. O. . **Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil.** Open Journal of Acoustics, v. 09, p. 26-38, 2019.