

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Arquitetura

João Pedro Reis Silva

**PAISAGEM SONORA: Análise da Paisagem Sonora do Aeródromo do
Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx)**

Taubaté
2018

João Pedro Reis Silva

**PAISAGEM SONORA: Análise da Paisagem Sonora do Comando de
Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx)**

Relatório de Pesquisa para o desenvolvimento
do Trabalho de Graduação em Arquitetura e
Urbanismo na Universidade de Taubaté,
elaborado sob orientação do Prof/ Dr. Luiz
Antonio Perrone Ferreira de Brito.

**Taubaté
2018**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Luiz Antonio Perrone Ferreira Brito, que me guiou e acompanhou durante todo desenvolvimento do trabalho.

A toda equipe do Comando de Aviação do Exército de Taubaté, que me receberam no local quando necessário, auxiliaram durante o processo e disponibilizaram informações importantes, principalmente ao Coronel Christian, Major Fatorelli e Sargento Rodrigo Miguel.

Ao Rafael Guatura que também me ajudou durante o trabalho e forneceu informações importantes.

A minha família, amigos e professores que me motivaram e incentivaram diante de todo o trajeto do trabalho, fazendo com que o trabalho seguisse da melhor forma possível.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise da paisagem sonora do Aeródromo do Comando de Aviação do Exército localizado no município de Taubaté, com objetivo avaliar a paisagem sonora na zona de entorno do aeródromo, avaliar os incômodos sonoros que o aeródromo traz aos moradores dessa região, os conflitos da lei da Agência nacional da Aviação Civil (ANAC) com a lei de zoneamento municipal e a ocupação da região. A partir de dados geográficos do aeródromo e do entorno foi realizado o Plano de Zoneamento de Ruído, se tornando visível as áreas mais afetadas pelo ruído aeronáutico, onde foi realizado uma pesquisa com os moradores através de um questionário com a finalidade de avaliar o incomodo sonoro em que a população vizinha está exposta. E por fim foi elaborado uma cartilha com medidas para atenuação dos níveis de ruídos no interior das residências e comércios.

Palavras-chave: Paisagem Acústica, Paisagem sonora, Ruído Aeronáutico, Ruído Urbano.

LISTA DE SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAvEx	Comando de Aviação do Exército
CONAMA	Conselho Nacional de Aviação Civil
(dB)	Decibel
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EPNL	Nível Efetivo de Ruído Percebido
IPR	Índice Ponderado de Ruído
L_{dn}	Day Night Level
L_{eq dn}	Indicador do Nível de Pressão Sonora (dia, fim de tarde, noite)
L_{eq}	Nível Sonoro Equivalente
L_i	Nível de Intensidade Sonora
L_w	Nível de potência Sonora
NEF	Nível de Ruído Previsto
OMS (WHO)	Organização Mundial da Saúde
PBZR	Plano Básico de Zoneamento de Ruído
PEZR	Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PNL	Nível de Ruído Percebido
PNLT	Nível de Ruído Percebido com Correções de Tom
PZR	Plano de Zoneamento de Ruído
RBAC	Registro Brasileiro de Aviação Civil
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado
SEL	Nível de Exposição Sonora

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Lindsay	4
Figura 2. Pressões sonoras com sons associados.....	6
Figura 3. Pressões sonoras e níveis de pressão sonora e correspondentes sensações.	7
Figura 4 . Dois tipos de propagação sonora ao ar livre.	13
Figura 5. Percentual de incomodados devido à exposição ao ruído – DNL dB(A).	19
Figura 6. Propagação de ruído a partir das turbinas	22
Figura 7. Áreas de Impacto PBZR.	23
Figura 8. Imagem de satélite Taubaté.....	34
Figura 9. Imagem de satélite CAVEx	35
Figura 10. Imagem Aérea parte administrativa CAVEx	35
Figura 11. Imagem Aérea pista CAVEx.....	36
Figura 12. Imagem Aérea hangares CAVEx.....	36
Figura 13. Fotografia aérea do CAVEx.....	37
Figura 14. Fotografia aérea CAVEx.....	37
Figura 15. Fotografia aérea CAVEx.....	38
Figura 16. Fotografia aérea CAVEx.....	38
Figura 17. Entrada CAVEx.	39
Figura 18. Entrada do CAVEx.	40
Figura 19. Vista afastada dos hangares e pista de pouso e decolagem.....	40
Figura 20. Pista de pouso e decolagem.	41
Figura 21. Pista de pouso e decolagem.	41
Figura 22. Área interna do hangar com aeronaves.	42
Figura 23. Área interna do hangar.	42
Figura 24. Modelo de aeronaves.	43

Figura 25. Modelo de aeronaves.	43
Figura 26. Modelo de aeronaves.	44
Figura 27. Modelo de aeronaves.	44
Figura 28. Vila militar (área residencial).	45
Figura 29. Vila militar (área residencial).	45
Figura 30. Vila militar (área residencial).	46
Figura 31. Instruções PBZR.	48
Figura 32. Instruções PBZR.	49
Figura 33. Edificações da pesquisa.....	52
Figura 34. HM-1 Pantera (AS-565 Panther).....	54
Figura 35. Helibrás HB 350 Esquilo.	55
Figura 36. Caracal Hm-4 (Ec-725).	56
Figura 37. Uso do Solo	58
Figura 38. Plano Básico de Zoneamento de Ruído.	59
Figura 39. Áreas de conflito entre níveis de ruído e usos segundo RBAC 161.	60
Figura 40. Gráfico de qualificação 1	61
Figura 41. Gráfico de qualificação 2.	61
Figura 42. Gráfico de qualificação 3.	62
Figura 43. Gráfico de qualificação 4.	62
Figura 44. Gráfico de qualificação 5.	63
Figura 45. Gráfico de avaliação 1.....	63
Figura 46. Gráfico de avaliação 2.....	64
Figura 47. Gráfico de análise específica 1	64
Figura 48. Gráfico de análise específica 2.....	65
Figura 49. Gráfico de análise específica 3.....	65
Figura 50. Gráfico de análise específica 4.....	66

Figura 51. Gráfico de análise específica 5.....	66
Figura 52. Gráfico de análise específica 6.....	67
Figura 53. Gráfico de análise específica 7.....	67
Figura 54. Gráfico de análise específica 8.....	68
Figura 55. Gráfico de análise específica 9.....	68
Figura 56. Gráfico de análise específica 10.....	69
Figura 57. Gráfico de análise específica 11.....	69
Figura 58. Gráfico de análise específica 12.....	70
Figura 59. Janela anti ruído marca Inovatta, linha harmonia.	74
Figura 60. Detalhe de janela anti ruído marca Inovatta, linha harmonia.....	75
Figura 61. Porta anti ruído.....	76
Figura 62. Porta anti ruído.....	77
Figura 63. Forro anti ruído marca Isover, linha prisma decor.	78
Figura 64. Detalhe encaixe forro Isover.	78
Figura 65. Detalhe fixação forro Isover.....	79
Figura 66. Coeficiente de absorção acústica forro Prima Decor.	79

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das fontes de ruído.....	21
Tabela 2. Relação entre IPR e a reação das comunidades.....	24
Tabela 3. Impacto sonoro gerado pelo Lra em relação ao Lrf.....	25
Tabela 4. Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.....	25
Tabela 5. Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A).	26
Tabela 6. Normas e legislações brasileiras referentes ao ruído aeronáutico e ambiente.....	30
Tabela 7. Estudos nacionais recentes ligados ao ruído aeronáutico.....	32
Tabela 8. Estudos nacionais recentes ligados ao ruído aeronáutico.....	33
Tabela 9. Movimentações anuais das aeronaves	47
Tabela 10. Dimensões (em metros) das Curvas de Ruído de 75 e 65.	47
Tabela 11. Usos compatíveis e incompatíveis para áreas abrangidas por PBZR.....	50
Tabela 12. Materiais com índice de isolamento sonoro.....	71
Tabela 13. Materiais com índice de isolamento sonoro.....	71
Tabela 14. Materiais com índice de isolamento sonoro.....	72
Tabela 15. Materiais com índice de isolamento sonoro.....	72
Tabela 16. Materiais com índice de isolamento sonoro.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.1.1 Objetivos Específicos	2
1.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 AERÓDROMO x AEROPORTO.....	3
2.2 ACÚSTICA	3
2.2.1 Definições Dos Termos De Acústica	4
2.2.2 Métricas Acústicas	8
2.3 SONS E RUÍDOS	12
2.4 RUÍDO URBANO, AMBIENTAL E POLUIÇÃO SONORA	14
2.5 DANOS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO SONORA	17
2.6 RUÍDO AERONÁUTICO	18
2.7 RUÍDO AEROPORTUÁRIO	20
2.7.1 Principais Fontes de Ruído Aeroportuário	22
2.8 NORMAS, PORTARIAS E LEGISLAÇÕES RELACIONADAS A PROPAGAÇÃO DE RUÍDO	22
2.8.1 Portaria Nº 1.141/GM5/1987	23
2.8.2 NBR 10.856/1989.....	23
2.8.3 NBR 11.415/1990.....	24
2.8.4 NBR 12.859/1993.....	24
2.8.5 NBR 13.368/1995.....	24
2.8.6 Legislação Ambiental - Resolução CONAMA nº 01/1990 e NBR 10.151/2000.	25
2.8.7 Política Nacional da Aviação Civil (PNAC) - nº 6.780/2009	27
2.8.8 Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) n 161 de 2013.	28
2.8.9 Resumo das Normas, legislações e portarias.....	29
2.9 ESTUDOS RECENTES BRASILEIROS	31
3. MÉTODO.....	34

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA	34
3.2 VISITA TÉCNICA E LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES.	39
3.3 USO DO SOLO	46
3.4 ELABORAÇÃO DO PBZR CONFORME RBAC 161	46
3.5 ANÁLISE DE ÁREAS AFETADAS PELO RUÍDO CONFORME RBAC	49
3.6 ANÁLISE DO PLANO DIRETOR.....	51
3.7 PESQUISA DE CAMPO.....	51
3.8 ELABORAÇÃO DE CARTILHA COM MEDIDAS PARA ATENUAÇÃO DO RUÍDO.	53
4. RESULTADOS.....	54
4.1 MODELOS DE AERONAVES (DADOS OBTIDOS DURANTE VISITA TÉCNICA).	54
4.1.1 HM-1 Pantera (AS-565 Panther).....	54
4.1.2 Helibrás HB 350 Esquilo.....	55
4.1.3 Caracal Hm-4 (Ec-725).	56
4.1.4 AS - 532 – Cougar.....	57
4.2 USO DO SOLO.	58
4.3 PLANO BÁSICO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO (PBZR).....	59
4.4 ANÁLISE DE ÁREAS AFETADAS PELO RUÍDO.	59
4.5 ANÁLISE DO PLANO DIRETOR.	60
4.6 PESQUISA DE CAMPO.....	61
4.6.1 Gráficos de qualificações.	61
4.6.2 Gráficos de avaliações.....	63
4.6.3 Gráficos de análises específicas.	64
4.7 SOLUÇÕES PARA ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS NECESSÁRIAS.	70
4.7.1 Soluções Para Montagem.	70
4.7.2 Definição Dos Materiais De Acordo Com Nível Sonoro.....	73
4.7.3 Forros e Esquadrias Anti Ruído.	74
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80

REFERÊNCIAS	81
--------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais impactos ambientais provocados pela atividade aeroportuária é o ruído proveniente dos equipamentos no pátio dos aeroportos e das operações de aeronaves, como os procedimentos de aproximação, pouso, decolagem, taxiamento e testes de motores. (INFRAERO, 2004).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2003), “A poluição sonora está em segundo lugar no ranking das poluições que causam maior impacto à população, perdendo apenas para a poluição do ar.”

Entretanto, em relação aos demais tipos de poluição, ela é a que apresenta o maior perigo, em virtude da sua dificuldade de percepção e aceitação imediata de seus efeitos, podendo, dessa forma, interferir na saúde humana (SILVA, 2011).

Os níveis de pressão sonora em excesso, nos ambientes urbanos, têm efeitos nocivos produzidos na saúde das pessoas (ZANNIN, SANTANA, 2011), sendo a principal forma de perda auditiva e surdez em indivíduos adultos. As repercussões na saúde e maneiras de estabelecer controles tem sido objeto de vários estudos e de preocupações no campo da saúde pública, da fisiologia, da acústica e da engenharia (SANTOS, 1994).

Desta Forma busca-se analisar a situação atual e o impacto ambiental devido a propagação de ruído proveniente das movimentações de aeronaves do Comando de Aviação do Exército de Taubaté por meio de avaliações urbanas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliação da paisagem sonora na zona de entorno do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx) e os conflitos com a lei da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), lei de zoneamento municipal e a ocupação de fato da região.

1.1.1 Objetivos Específicos

-Diagnostico da percepção dos moradores da zona de entorno sobre o ruído gerado pelas operações de pouso e decolagem no Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx).

-Elaboração de uma cartilha com recomendações básicas para redução do ruído interno nas edificações.

1.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Uma das etapas do trabalho será baseada em entrevistas com pessoas que residem e trabalham próximo ao local, será feito perguntas a respeito da propagação de ruído proveniente das atividades do aeródromo do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será apresentado todo referencial teórico responsável pela fundamentação do trabalho de pesquisa. Será abordado de forma sucinta e resumida dados e definições a fim de facilitar o entendimento de normas, procedimentos e metodologias que serão utilizados durante a etapa do projeto de pesquisa, iniciando em acústica, se estendendo até o ruído aeroportuário. Será citado os principais autores lidos e trabalhos relacionados à questão acústica e análise de ruído aeroportuário, sendo livros, artigos técnicos, trabalho de graduação, dissertações e teses.

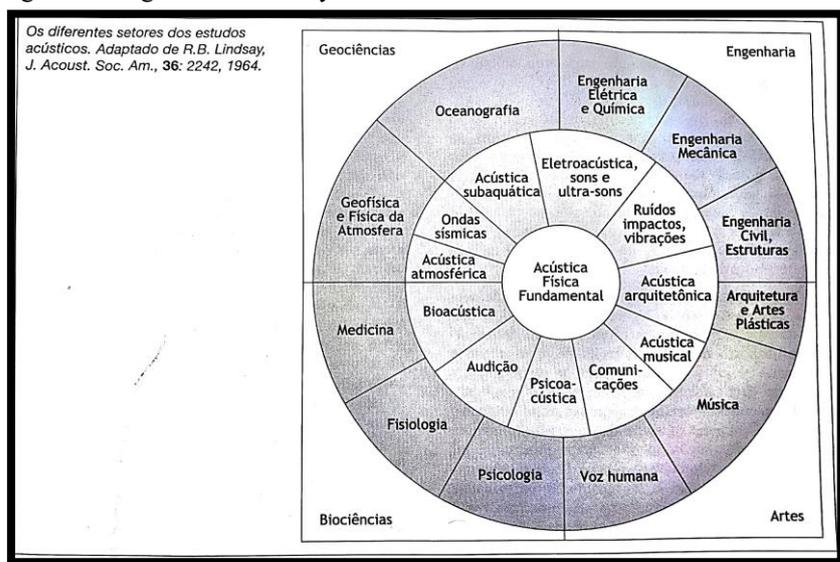
2.1 AERÓDROMO x AEROPORTO

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) (2018), “Aeródromo é toda área destinada a pouso e decolagem e movimentação de aeronaves e aeroporto é todo aeródromo público dotado de instalações e facilidades para dar apoio as aeronaves e ao embarque e desembarque de pessoas e cargas”.

2.2 ACÚSTICA

Segundo Bistafa (2006), o diagrama a baixo proposto por Lindsay, nos mostra as diversas as probabilidades da acústica, com seus setores e áreas, nos cantos do diagrama estão as habilitações culturais, depois vem primeiro anel, composto pelas competências profissionais, o anel intermediário, com diferentes recortes e profundidades, relacionado as probabilidades de áreas dentro das profissões, e por final a região central, a Acústica Física Fundamental, imprescindível para toda acústica.

Figura 1. Diagrama de Lindsay



Fonte: Livro – Acústica Aplicada ao Controle de Ruído, 2006.

Acústica é a ciência do som, incluindo a sua geração, transmissão e efeitos. Na realidade, o termo som tem conotação mais ampla, já que se refere não somente ao fenômeno no ar responsável pela sensação de audição, mas também a tudo aquilo que é governado por princípio físico análogo. Assim, perturbações em frequências muito baixas (infra-sons) ou muito elevadas (ultra-sons), que não são ouvidas por uma pessoa normal, são também consideradas como sons. Podemos falar em sons subaquáticos, sons em sólidos, ou em sons transmitidos por sólidos. Apesar de certos fenômenos acústicos e ópticos (como de refração e difração) serem governados pelos mesmos princípios, o som é um movimento ondulatório mecânico enquanto a luz é um movimento de ondas eletromagnéticas (BISTAFA, 2006).

Desta forma acústica é inerente ao som, é uma relação, os efeitos e consequências do mesmo. E o som, é muito mais do que imaginamos e podemos escutar, possuindo classificação e meios de propagação.

2.2.1 Definições Dos Termos De Acústica

Nesta seção são apresentados alguns termos da acústica, os quais serão utilizados na sequência do trabalho:

- As curvas isofônicas representam a união de pontos com a mesma avaliação numérica, ou nível de ruído, no entorno de um aeroporto. Leva-se em consideração a possibilidade de se

obter os níveis de incômodo, para um determinado período, um dia, por exemplo, obtendo-se um conjunto de contornos, ou curvas, de igual nível de incômodo (CARVALHO, 2015).

- Mapa acústico (mapa de ruído ou carta acústica) são mapas para fins de avaliação global da exposição ao ruído em determinada zona, devido a uma fonte ou várias fontes de ruído. Para a elaboração dos mapas acústicos deve-se considerar, minimamente, os seguintes aspectos: situação sonora existente, anterior ou prevista em função de um indicador de ruído; ultrapassagem de um valor-limite; número estimado de habitações, escolas e hospitais numa determinada zona que estão expostas a valores específicos de um dado indicador de ruído; número estimado de pessoas localizadas numa zona exposta ao ruído (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

- Decibel (dB): O ouvido humano é sensível a intensidades sonoras que abrangem uma faixa enorme desde, aproximadamente, 10^{-12} W/m² (o limiar da audição) até mais de 1 W/m² (o limiar da dor). Devido a esse grande intervalo, uma escala logarítmica de base dez, denominada escala decibel (dB) é adotada para definir o nível de intensidade sonora (LI) e o nível de potência sonora (LW). Desse modo, o decibel é a razão logarítmica entre duas potências ou intensidades sonoras (CARVALHO, 2015).

- Pressão sonora: Ao nível do mar, a pressão ambiente é de cerca de 101.350 Pa²⁴. A menor variação de pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo humano é da ordem de 2×10^{-5} Pa. Essa pressão chama-se limiar da audibilidade e a variação da pressão ambiente capaz de provoca dor é o limiar da dor, sendo da ordem de 60 Pa. Para que a variação da pressão ambiente seja detectada como som é necessário que essa variação ocorra de forma cíclica e com a amplitude (A) maior que o limiar da audibilidade. Desse modo, o sistema auditivo detectará o som e a variação da pressão ambiente passa a ser chamada de pressão sonora (p), ou pressão acústica (BISTAFA, 2006).

- Nível de pressão sonora: É dada pela fórmula abaixo, onde a pressão sonora de referência é a mínima pressão sonora percebida pelo ouvido humano. Seu valor é de $20 \mu\text{Pa}$ ($20 * 10^{-6}$ Pa (ZANNIN apud LACERDA, 2004).

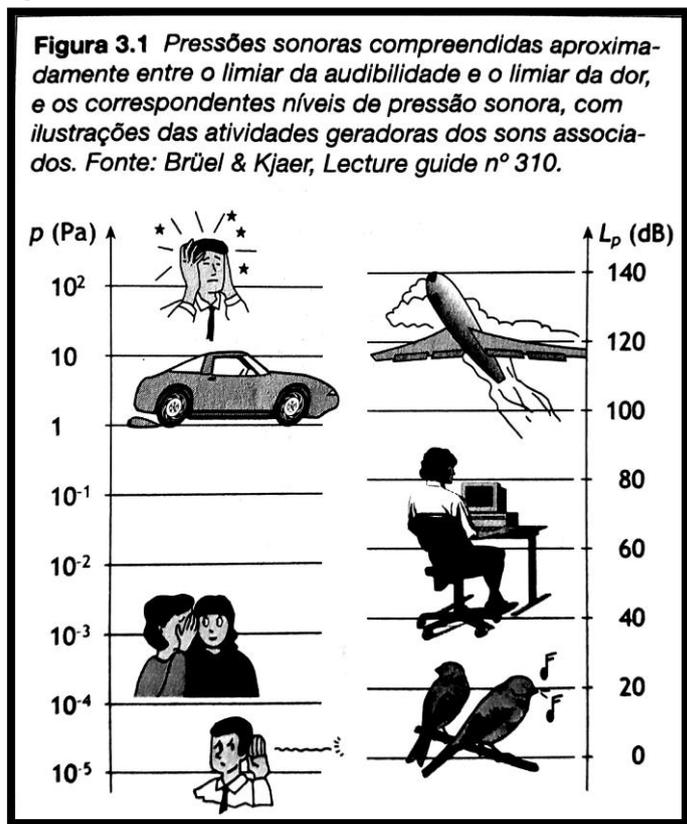
- dB(A): A sensibilidade do ouvido humano depende da frequência com a qual o som é emitido. Baixas frequências não são detectadas com a mesma sensibilidade do que altas frequências. Para suplantam esta dificuldade em avaliações acústicas, utiliza-se uma curva de

ponderação para enfatizar as frequências para as quais o ouvido humano é mais sensível. A curva de ponderação "A" é geralmente a mais utilizada em medições sonoras. O som medido com a ponderação "A" aproxima-se da percepção do ouvido humano, e seu valor é dado em dB(A) (ZANNIN apud LACERDA, 2004).

- Nível sonoro equivalente (L_{eq}): Os níveis de ruído variam com o tempo, tornando difícil sua avaliação. Para tornar as avaliações mais precisas, instituiu-se na Acústica o nível sonoro equivalente, o qual representa uma média de todos os níveis sonoros medidos ao longo do tempo. Assim pode-se expressar a avaliação sonora através de um número único. O nível sonoro equivalente é dado em dB(A) (ZANNIN apud LACERDA, 2004).

Abaixo segue uma figura e uma tabela ilustrando melhor as sensações humanas com seus respectivos níveis sonoros.

Figura 2. Pressões sonoras com sons associados.



Fonte: Livro – Acústica Aplicada ao Controle de Ruído, 2006.

Figura 3. Pressões sonoras e níveis de pressão sonora e correspondentes sensações.

QUADRO 3.1 Pressões sonoras e níveis de pressão sonora para sons do cotidiano, e correspondentes sensações subjetivas de intensidade associadas			
Sensação subjetiva de intensidade	Descrição	Pressão sonora (Pa)	Nível de pressão sonora (dB)
Estrondoso	Perigo de ruptura do tímpano • Avião a jato a 1 m • Fogo de artilharia	200	140
	Limiar da dor • Tambor de graves a 1 m • Avião a jato a 5 m	63	130
Muito barulhento	Limiar do desconforto auditivo • Avião a pistão a 3 m • Broca pneumática	20	120
	• Metrô • Próximo a uma britadeira	6,3	110
	• Indústria barulhenta • Dentro de um avião	2	100
Barulhento	• Banda ou orquestra sinfônica • Rua barulhenta Obs.: Ambientes com níveis de pressão sonora superiores a 85 dB são considerados insalubres	0,63	90
	• Dentro de um automóvel em alta velocidade • Escritório barulhento • Aspirador de pó	0,2	80
Moderado	• Rua de barulho médio • Pessoa falando a 1 m	0,0063	70
	• Escritório de barulho médio • Rádio com volume médio	0,02	60
Tranquilo	• Restaurante tranquilo • Escritório aberto (com tratamento acústico)	0,006	50
	• Sala de aula (ideal) • Escritório privado (ideal)	0,002	40
Silencioso	• Teatro vazio • Quarto de dormir	0,0006	30
	• Movimento de folhagem • Estúdio de rádio e TV	0,00002	20
Muito silencioso	• Deserto ou região polar (sem vento) • Respiração normal	0,00006	10
	• Laboratório de Acústica (câmara anecóica) • Limiar da audibilidade	0,00002	0

(Adaptado de [1] Gonzales.)

Fonte: Livro – Acústica Aplicada ao Controle de Ruído, 2006.

2.2.2 Métricas Acústicas

Conforme Mestre & Wooten (1980), a reação entre seres humanos e o ruído acontece devido vários fatores, como horário da ocorrência, a duração, as características espectrais, entre outros. Em decorrência da natureza bastante variada dos ruídos cotidianos, sua avaliação pode ser consideravelmente complexa.

Assim métricas acústicas são os diferentes métodos de avaliação de ruído. Essas métricas estão associadas a critérios de aceitabilidade que refletem o grau de incômodo ou interferência nas atividades humanas.

Neste capítulo será citado as principais métricas acústicas comumente utilizadas na metodologia de trabalhos nacionais.

- L_{eq} (Nível de pressão sonora equivalente)

O nível contínuo equivalente é o som produzido durante um dado período de tempo medido com equipamento adequado e calibrado com filtro de frequências na ponderação “A”. Nível de pressão sonora equivalente, L_{eq}, em dB(A), é calculado pela Equação (Gerges, 2000):

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{P_0^2} dt \right)$$

Onde T é a duração do período de referência (tempo total de medida); P(t) é a pressão sonora instantânea; P₀ é pressão sonora de referência (2,0 x 10⁻⁵ N/m²). A Equação 1 mostra que o nível equivalente é representado por um valor constante que durante o mesmo tempo T, resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora.

- Nível de Ruído Percebido (PNL) e Nível de Ruído Percebido com Correção de Tom (PNLT).

Segundo a NBR 11.415 (ABNT, 1990), o PNL é o resultado do cálculo dos contornos de igual índice de ruidosidade, de frequências de banda larga e tipos de ruído produzidos por aeronaves, a pistão ou a jato, no pouso e decolagem convencionais. No cálculo, consideram-se um campo sonoro difuso e a inexistência de irregularidades pronunciadas no espectro. É expresso pela Equação 2:

$$PNL = (10 \times \log_{10} N / \log_{10} 2) + 40 \text{ dB}$$

Onde N expressa a ruídosidade total em noys. O noy é uma grandeza psicoacústica desenvolvida para mensurar objetivamente o incômodo do ruído e expressa a ruídosidade percebida.

Em determinadas situações o espectro poderá apresentar tons puros expressivos, sendo necessário fazer a correção de cada valor do PNL obtido. O resultado é conhecido como nível de ruído percebido com correção de tom (PNLT) (BISTAFA, 2006). É definido da seguinte forma (ABNT, 1990):

$$PNLT = (PNL + C)$$

Onde C indica a correção do tom.

- Nível Efetivo de Ruído Percebido (EPNL - Effective Perceived Noise Level).

O EPNL é calculado integrando-se o registro de PNLT no intervalo de tempo durante o qual este esteve até 10 dB abaixo do valor máximo, sendo resultado normalizado pelo intervalo de tempo de referência (T) de 10s. Basicamente o EPNL avalia três propriedades: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação do tempo (ABNT, 1990). O EPNL é representado pela Equação 4 (Bistafa, 2006).

$$EPNL = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{[PNLT(t)/10]} dt \right]$$

Onde, PNLT (t) é o nível de ruído percebido com correção de tom em um instante t e T é o tempo de referência equivalente a 10s.

- Nível de ruído previsto (NEF – Noise Exposure Forecast).

O NEF tem por base o EPNL e tem sido usado pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (US HUD) e pelo Departamento de Transportes do Canadá (Transport Canada) para zoneamento do ruído no entorno de aeroportos. Esse zoneamento é elaborado em termos de curvas isofônicas, sendo o NEF a grandeza que caracteriza as curvas. É somado a todos os tipos de aeronaves e todos os trajetos de voo e é definido pela Equação 5 (Bradley, J.S apud CARVALHO, 2013).

$$NEF = \langle EPNL \rangle + 10 \times \log(N_d + 16,7.N_n) - 88$$

Onde (EPNL) é a média do EPNL de sobrevoo das aeronaves, N_d e N_n representam o número do tempo correspondente ao período diurno (7h as 22h) e ao noturno (22h as 7h), respectivamente.

- Índice Ponderado de Ruído (IPR).

No Decreto nº. 89.431, de 8 de março de 1984, nível de incômodo sonoro é definido como a medida em IPR (Índice Ponderado de Ruído), cumulativa, em escala logarítmica, do incômodo causado pelo ruído gerado pela operação de aeronaves em um aeroporto. Esse decreto dispõe sobre o Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) e Planos Específicos de Zoneamento de Ruído (PEZR) a que se refere o Código Brasileiro do Ar.

Poucos anos depois, o IPR é adotado na portaria nº. 1.141/GM5 de 1987, e até 28 de setembro de 2011(ver item 3.6) era o método oficial adotado pelo Brasil para o cálculo do incômodo produzido por aeronaves, tendo como referência os contornos IPR 75 e 65 dB(A) para as curvas isofônicas (curvas de igual nível de incômodo sonoro) utilizadas no PBZR.

As NBR's 11.415 (ABNT, 1990) e NBR 12.859 (ABNT, 1993) definem o IPR por meio da Equação 6:

$$IPR_{(i,j,k)} = EPNL_{(i,j,k)} + 10 \log \cdot p(k) \cdot n_{(i,j,k)} - 68$$

Onde, $n_{(i,j,k)}$ é o número dessas aeronaves, $p(k)$ é o fator de ponderação em função do período do dia: $p(1) = 1$ para o período diurno e $p(2) = 10$ para o período noturno (ABNT, 1990 e ABNT, 1993). Aqui se chama a atenção para os pesos diferenciados entre voos diurnos e noturnos. Após 1994 a fórmula matemática foi aprimorada com o objetivo de permitir medições diretas em campo, e encontra-se descrito no Airport Planning Manual. É definido como sendo o nível médio de ruído, ponderado na escala “A”, para um período de 24h, aplicando-se um acréscimo de 10 dB(A) nos níveis de ruído que ocorrem no período noturno (ICAO, 2002 apud VALIM, 2006). Obter o valor desse índice contribui com o entendimento das possíveis reações das comunidades afetadas pelo ruído aeroviário. A fórmula aprimorada é determinada pela expressão 7.

$$IPR = 10 \times \log \left[\frac{1}{24} \left(15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right) \right]$$

Nesta expressão, o número 24 corresponde às horas medidas, 15 ao período diurno e 9 ao noturno, sendo que o período noturno deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte. Como se verifica a seguir, o IPR tornou-se equivalente L_{dn} ou DNL (Day Night Level).

- L_{dn} (Day Night Level)

O L_{dn} é uma medida cumulativa da energia total do som, geralmente compilada em uma base anual, e representa uma média logarítmica dos níveis sonoros no local durante um período de 24 horas, com uma penalização de 10 dB adicionado a todos os sons que ocorram durante o horário noturno (das 22h as 7h). A pena de 10 dB representa a intromissão do ruído adicionado à noite, pois os níveis de som ambiente durante as horas noturnas são, tipicamente cerca de 10 dB inferiores aos níveis medidos durante o dia, e por causa da irritação associada a distúrbios do sono (CARVALHO, 2013). De acordo com a NBR 11.415 (ABNT, 1990), o nível de incômodo sonoro medido pelo método L_{dn} é determinado pelo L_{eq} para 24h, sendo que no período das 22h às 7h, somam-se 10 dB a todos os níveis medidos. É definido da seguinte forma:

$$L_{dn} = 10 \times \log \left[\frac{1}{24} \left(15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right) \right]$$

Onde o número 24 corresponde às horas medidas, 15 ao período diurno e 9 ao noturno, sendo que o período noturno deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte.

- $L_{eq,den}$ (indicador do nível de pressão sonora dia-fim-de-tarde-noite).

A Diretiva Europeia 2002/49/EC indica os parâmetros $L_{eq,den}$ (indicador do nível de pressão sonora dia-fim-de-tarde-noite) e $L_{eq,noite}$ (indicador do nível de pressão sonora noturno) como indicadores de longo prazo. O $L_{eq,den}$ é definido pela Equação:

$$L_{eq,den} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{eq,dia}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{eq,ent}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{eq,noite}+10}{10}} \right) \right]$$

O $L_{eq,dia}$ é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 12h avaliado entre 7h e 19h, medido com o filtro de frequências na ponderação A; $L_{eq,ent}$ é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 4h avaliado entre 19h e 23h (entardecer), medido com o filtro de frequências na ponderação

A; $L_{eq,notite}$ é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 10h avaliado entre 23h e 7h, medido com o filtro de frequências na ponderação A. Essa Equação mostra que o indicador $L_{eq,den}$ representa o nível de pressão sonora médio nas 24h do dia, com a aplicação de uma ponderação diferenciada para os ruídos emitidos durante o período do anoitecer/entardecer (correção + 5 dB) e da noite (correção + 10 dB).

- SEL – Nível de exposição sonora (Sound Exposure Level).

Vários grupos de pesquisa consideram o SEL como o melhor método para caracterizar o ruído ambiente nas vizinhanças de um aeroporto. Representa a soma de todos os níveis de pressão sonora dentro de um intervalo de interesse, ou seja, SEL é um valor que indica o nível constante, de duração de 1 segundo que tem igual quantidade de energia que o nível equivalente do ruído medido. Este é um índice útil para calcular os níveis sonoros que resultam de qualquer combinação de fontes sonoras (CARVALHO, 2013). O SEL não representa o nível sonoro percebido em determinado momento diretamente, mas provê a medida líquida de energia do evento acústico inteiro, ou seja, é o nível de um som constante, com uma duração de 1 segundo o que proporcionaria uma quantidade de energia de som igual à energia do evento em estudo. Pode ser calculado usando a Equação para o nível de pressão sonora equivalente com a duração (T) passando a ser um tempo referenciado (T_{ref}) de 1 segundo. A Equação para a determinação do SEL é, então, expressa da seguinte forma (NBR 11.415):

$$SEL = 10 \times \log \left[\frac{1}{T_{ref}} \int_0^t 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right] = 10 \times \log \left[\int_0^t 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right]$$

Onde, T_{ref} é igual a 1 segundo e $L_A(t)$ é o nível de ruído na escala A, no instante t.

2.3 SONS E RUÍDOS

Conforme Bistafa (2006), o som é a sensação produzida no sistema auditivo; e ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa. Sons são vibrações das moléculas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes; mas nem toda estrutura que vibra gera som. Sons que, para todos efeitos, seriam qualificados como ruído podem, no entanto, transmitir informações úteis. Sons podem indicar a velocidade com que dirigimos, ou se o café na cafeteira está pronto.

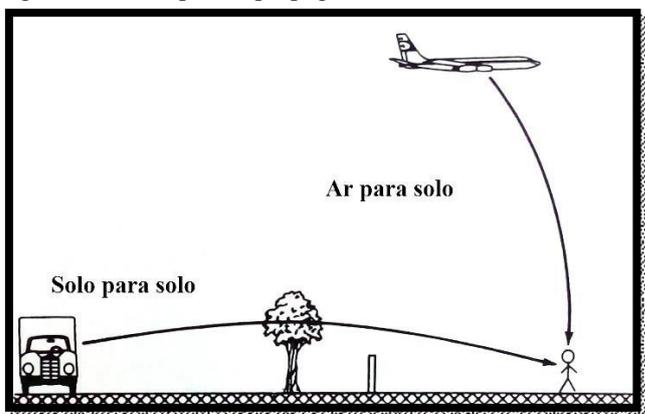
Segundo Barbosa (2015), tanto na teoria quanto na prática, é fundamental interpretar e considerar as diferenças, para que seja possível compreender o som e o ruído. O som é um

fenômeno acústico, devido a propagação de ondas sonoras originado de uma fonte que vibra, sendo necessário apenas um fluido para ser possível sua propagação. O ruído com características específicas, consiste na variação do som e independe da fonte e do meio.

Alguns autores classificam o conceito de ruído como sendo aqueles sons considerados desagradáveis ou indesejados. Essa denominação pode variar 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).

Se tratando de sons e ruídos diversos fatores podem interferir em sua propagação. Os principais meios que interferem na propagação sonora ao ar-livre segundo Bistafa (2006) são oito: ar atmosférico, solo, barreiras acústicas, edificações, vegetação densa, reverberação urbana, gradientes de temperatura e gradiente de velocidade do vento. Alguns deles exercem papel atenuante, outros, amplificante, e há ainda aqueles que exercem ambos os papéis de acordo com as características físicas dos mesmos e também da onda sonora.

Figura 4 . Dois tipos de propagação sonora ao ar livre.



Fonte: MESTRE & WOOTEN (1980).

Na figura acima nota-se, por exemplo, que em função do tipo de fonte sonora ou tipo de propagação, existem mecanismos de atenuação que podem ou não interferir.

Segundo Mestre & Wooten (1980), é necessário ressaltar o fato de que, isoladamente, cada mecanismo possui uma natureza atenuante/amplificante e uma capacidade limitada de exercer tal papel. Porém, as interações entre estes mecanismos têm por consequência diferentes resultados.

A partir das citações dos autores feitas acima podemos concluir que há diferenças entre o som e o ruído, porém, estas denominadas classificações se alternam em função de determinados fatores, dependendo da atividade, do local, da cultura entre outros.

2.4 RUÍDO URBANO, AMBIENTAL E POLUIÇÃO SONORA

Segundo Sousa (2004), a poluição sonora é a consequência da energia sonora, por sua vez, consequência do ruído (classificação de som indesejável) que afeta de forma negativa a população. Portanto poluição sonora, poluição sonora urbana, ruído ambiental ou ruído urbano tratam do mesmo assunto.

A revolução industrial, com seu crescente desenvolvimento tecnológico e o acelerado crescimento das metrópoles, agravou, nos últimos tempos, a poluição sonora ambiental dos centros urbanos, expondo os indivíduos ao permanente convívio com os elevados níveis de ruído em consequência do aumento do número de automóveis e aeronaves que trafegam no interior do seu perímetro (MORAIS, 2008).

Com o advento da Revolução Industrial, nota-se que a paisagem sonora original (com ruídos genuinamente da natureza) é rapidamente deteriorada. Inúmeras fontes de ruído surgem. Indústrias, veículos motorizados, construção civil e expansão urbana propiciam uma paisagem sonora artificial com pouca definição de sons e de maior alcance (MOTA apud RAMOS, 2017). O ruído torna-se homogêneo e anônimo dentro e no entorno da malha urbana (WRIGHTSON; RUSSO; SINGAL; STEWART apud RAMOS 2017). A facilidade em refugiar-se do ruído torna-se reduzida e forçadamente o homem acostuma-se com o ruído em seu ambiente (RIBAS; MADRUGA apud RAMOS, 2017).

Com desenvolvimento urbano e tecnológico dos municípios, a população é beneficiada de diversas formas, por exemplo, juntamente ao crescimento surgem novos empreendimentos, e a partir disso são geradas novas oportunidades de emprego, em contrapartida, apesar de todo lado positivo, o crescente número de indústrias, construções e tráfego de veículos, aumenta o nível de ruído, tornando excessivo, por consequência a poluição sonora, devido falta de planejamento e política reguladora com fiscalizações. Apesar do grande impacto que a poluição sonora causa, cada vez mais foi se tornando comum a aceitabilidade e conformismo, em função das exigências e rotina repleta de atividades para qual o mundo vem caminhando.

Segundo Lacerda (2005), o ruído urbano é consequência das atividades do processo de urbanização, classificado como poluição sonora.

A poluição sonora ocupa hoje a segunda posição entre as maiores fontes poluidoras no mundo e que atingem o maior número de pessoas, só perdendo para a poluição do ar, proveniente das emissões gasosas e poluição das águas. Assim, o incômodo gerado pelo ruído tem contribuído para o crescente número de reclamações por parte das populações urbanas, observadas em todos os continentes. (WHO, 2003) (FERREIRA,2007)

Segundo Marques (2015), o combate do ruído se torna cada vez mais difícil, pois está presente em todos locais, na maioria dos casos individualmente não apresentando um desconforto significativo, porém o conjunto dos mesmos acabam por causar problemas. A partir disso afirma-se também a poluição sonora ser mais evidente quando o ruído desaparece, apresenta como exemplo a Avenida Paulista em São Paulo, enfatizando a diferença do nível de ruído entre o final de semana e os dias de semana. Mostra como as pessoas se conformam e isso se incorpora a rotina, diminuindo o nível de observação.

O ruído é um dos principais fatores de degradação da qualidade do ambiente urbano e em vários países é reconhecido como um problema de saúde pública. Sabe-se que a poluição sonora gerada no ambiente das cidades raramente afeta o sistema auditivo, mas recentes pesquisas mostram que a resposta humana envolve o sistema cardiovascular e o sistema neuroendócrino (COELHO, 1996).

Segundo Santos (2001), diversos fatores influenciam na paisagem sonora de determinado local, como vias de tráfego, ruas residenciais, vegetação, edificações entre outros. Um dos fatores causadores da verticalização é o aumento da população urbana e alto custo do solo, por consequência são formados os corredores sonoros, apesar disso, Santos afirma os espaços urbanos poderem contribuir positivamente com a qualidade acústica das cidades, a partir de seu desenho.

Entre as inúmeras fontes sonoras existentes no meio ambiente, uma das mais importantes e presentes nos grandes centros urbanos, que mais gera incômodo à população exposta e reclamações é o ruído do tráfego, produzido pelos meios de transporte. (FERREIRA, 2008).

Apesar do ruído ser natural no processo urbanização e desenvolvimento, estando presente em praticamente todas atividades humanas, com níveis diferentes, o que classifica

como problema ou não, algumas vezes não é dada a devida atenção. Conforme citado acima, foi constatado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição sonora ocupa segundo lugar no ranking de maiores fontes poluidoras no mundo e que atingem o maior número de pessoas, sendo um dos principais fatores de degradação da qualidade do ambiente urbano, a partir disso é apresentado como o desenho urbano interfere na paisagem sonora, portanto a implementação de medidas e técnicas de desenho, entre outras, tem papel fundamental na redução dos danos.

O transporte rodoviário, ferroviário e aéreo; a indústria de construção civil; o comércio e propaganda; algumas formas de recreação típicas das cidades contribuem como fonte de ruído na paisagem sonora das cidades. Embora o ruído produzido por diversas atividades (discotecas, indústrias, academias de ginástica) possa ser incômodo para a comunidade pertencente ao entorno imediato, é no tráfego de veículos que estão concentradas as queixas da população quanto à poluição sonora (SANTOS, 2001).

O ruído e a mobilidade são dois elementos inerentes aos indivíduos. Basta que exista um indivíduo para que o ruído e a mobilidade possam acontecer em qualquer lugar e a qualquer instante (SILVA et al., 2010). Para tanto, estes elementos são evidenciados no meio urbano, muito pelo tom conflitante da diversidade de realidades que a cidade pode apresentar (PÉREZ & GÓMEZ, 2009).

No Brasil é crescente o excesso de ruído urbano sendo associado a explosão demográfica das cidades, juntamente com a falta de política urbana e a aplicação de normas que controlem os níveis de emissão de ruído de tráfego (ZANNIN; DINIZ; FERREIRA; SCHUHLLI, 2002).

O planejamento urbano é essencial para a redução dos efeitos do ruído na população em geral, sendo responsável pela qualidade de vida do aglomerado urbano. Suas variáveis são complexas, como, por exemplo, o tráfego de veículos, que está relacionado com a poluição sonora e do ar, mas, ao mesmo tempo possui efeitos benéficos à sociedade, contribuindo para a mobilidade e não devendo, portanto, simplesmente ser eliminado. O mesmo ocorre com as atividades industriais, comerciais e de entretenimento, que são importantes para a economia. No processo de planejamento urbano, devem-se considerar as ferramentas da engenharia acústica capazes de simular a paisagem sonora com o objetivo de reduzir a propagação do ruído, como os modos de distribuição das edificações nas quadras, a forma das edificações e a taxa de ocupação dos lotes (IVANOVIC apud BRITO, 2017).

“Desta forma, o mapeamento de ruído é uma importante ferramenta de planejamento urbano que apresenta informação visual do comportamento acústico de uma área avaliada (LOBO, 2017).

A partir das citações dos autores feito acima, vemos o constante conflito de interesses nos espaços públicos, entre a mobilidade, saúde e bem-estar da população, em função do ruído propagado, devido ao crescimento populacional e principalmente consequência do ruído do

tráfego veículos de transporte. A situação é complexa, apesar dos problemas relacionados ao tráfego de veículos, como poluição sonora e do ar, o transporte tem efeitos benéficos para a população, papel importante na mobilidade que não pode ser cortado. Essa situação se repete também com outras fontes sonoras. A partir dessa problemática, se torna imprescindível o uso de ferramentas capazes de simular a paisagem sonora, é possível solucionar ou atenuar grande parte dos problemas, com estratégias, técnicas, normas, desenho e políticas urbanas, se destacando o mapeamento de ruído como uma das ferramentas de planejamento urbano, de modo que possa ser controlado e fiscalizado os níveis de emissão de ruído.

2.5 DANOS CAUSADOS PELA POLUIÇÃO SONORA

Segundo Almeida (2000), locais com níveis de ruído excessivos, são associados a sensações de desconforto, não somente ao homem, mas também aos animais. O ruído em níveis acima do aceitável pode levar ao stress, irritabilidade, etc. afetando até, eventualmente, a saúde e qualidade de vida da população.

É importante consignar que os efeitos da poluição sonora não são imediatos, exceto o incômodo, gerando perda gradativa da audição. Com a persistência, pode causar alterações físicas, mentais e emocionais. Afeta o rendimento no trabalho, interfere negativamente na comunicação das pessoas e pode atingir a fauna, pois muito ruído acentua a presença de ratos e baratas, e a flora, reduzindo o crescimento (MARQUES, 2015).

Os fatores de efeito do ruído no homem podem ser classificados em comportamentais, que avaliam a reação das pessoas ao ruído ambiente e a interferência deste nas suas diversas atividades de vida, bem como, em fatores psicológicos/médicos de mudanças crônicas ocasionadas potencialmente pelo ambiente (NUNES, 2010).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) realizou, entre 31 de janeiro e 4 de fevereiro de 1977, o 2º Encontro Para Estudo dos Efeitos do Ruído Ambiental na Saúde do Homem e, na sua publicação Environmental Health Criterion 12 - Noise (Critérios de Saúde Ambiental 12 - Ruído), de 1980, reconhece e especifica as muitas alterações da saúde humana causadas pelo ruído. Entre outros problemas, podem-se destacar:

- aceleração da pulsação;
- aumento da pressão sanguínea;
- estreitamento dos vasos sanguíneos;

- tensões musculares;
- secreções anormais de hormônios causados pela sobrecarga do coração;
- nervosismo;
- fadiga mental;
- prejuízo no desempenho no trabalho, provocando também altas taxas de ausência no trabalho;
- irritabilidade;
- conflitos sociais, entre outros.

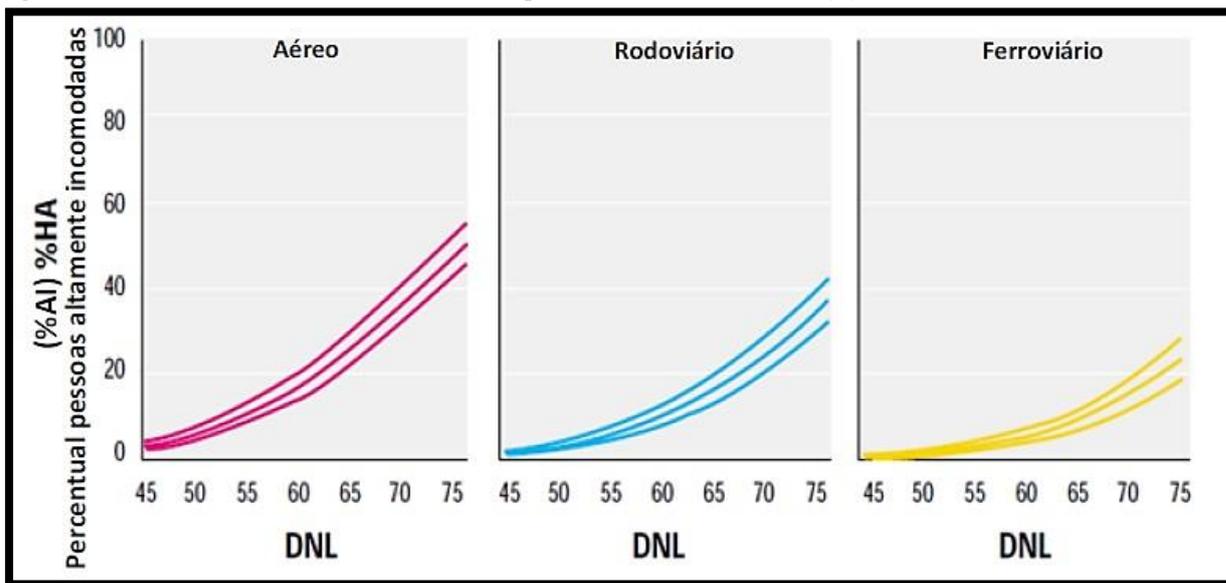
Além dos efeitos nocivos à saúde do cidadão e dos efeitos sociais numa comunidade, existem outros efeitos prejudiciais, como a redução do valor de uma propriedade localizada em uma área com alto índice de ruído.

2.6 RUÍDO AERONÁUTICO

Entre todos os meios de transporte, o que registrou maior aumento nos últimos 20 anos na Europa foi o transporte aéreo. O ruído gerado pelas aeronaves nas áreas vizinhas ao aeroporto, não causam perda auditiva na população exposta, mas o efeito nocivo que este ruído acarreta é visivelmente sentido na forma de incômodo, interferência na comunicação e no sono, dificuldade de concentração e no aprendizado, entre outras (MORAIS, 2008).

Na figura a seguir é feito uma comparação entre o grau de incomodo devido ao transporte aéreo, rodoviário e ferroviário.

Figura 5. Percentual de incomodados devido à exposição ao ruído – DNL dB(A).



Fonte: Carvalho, 2015.

O transporte aéreo é um dos setores mais dinâmicos da economia mundial e é de grande importância para a integração econômica e social das nações. Com o crescimento da economia e o turismo em alta no mundo, a demanda aeroportuária vem aumentando de forma acelerada, acarretando problemas, principalmente ambientais, nas áreas vizinhas aos aeroportos. O Ruído Aeroportuário causado pelo movimento das aeronaves é considerado um dos principais causadores do impacto ambiental sobre as áreas localizadas no entorno dos aeroportos, afetando diretamente toda a população vizinha. O ruído aeronáutico se caracteriza por elevados níveis sonoros, principalmente nas baixas frequências, causando vários efeitos adversos sobre a vida social e familiar da população exposta a esse ruído. O aeroporto é um equipamento urbano de grande porte, considerado um indutor de desenvolvimento para a região onde é construído, e sua implantação, operação e expansão são potencialmente modificadoras do meio ambiente, pois impõe ao uso do solo nas áreas de entorno severas restrições, que visam preservar a segurança das operações aéreas, possibilitar a expansão do aeroporto, proteger a comunidade contra o incômodo sonoro e eliminar o risco de acidentes. (MORAIS, 2008).

Ligado ao crescimento e desenvolvimento, a demanda na área do transporte, principalmente o transporte aéreo é grande e trouxe forte impacto para população. Tanto o ruído aeronáutico, quanto o aeroportuário, causou grande impacto ambiental nas áreas vizinhas, apesar de alta importância social e econômica, o fato de os aeroportos serem equipamentos urbanos de grande porte, impõem severas restrições, necessárias de serem analisadas e fiscalizadas.

Para a escolha do melhor sítio na implantação de um novo aeroporto, os órgãos competentes dedicam-se desde o início do processo às questões urbanas, ambientais e de acessibilidade, visando evitar ou pelo menos minimizar os efeitos dos possíveis impactos decorrentes da sua construção, desenvolvimento e operações das aeronaves na área. Geralmente, são

escolhidos os locais de fácil acesso e desabitados, como áreas rurais, desde que não gerem riscos para a sua operação. Estas restrições de uso do solo no entorno do aeroporto são devidas à necessidade de operação segura das aeronaves e de prevenir o incômodo causado à população vizinha pela exposição a níveis de ruídos elevados. Nas áreas de transição e de aproximação das cabeceiras, os gabaritos das edificações devem ser limitados segundo o Plano de Zonas de Proteção (PZA), regulamentado pela Portaria Nº1141/GM5. (MORAIS, 2008).

De acordo com o RBAC 161 e a OMS, entende-se por ruído aeronáutico todo o ruído oriundo das operações de circulação (táxi), aproximação, pouso, decolagem, subida e teste de motores de aeronaves. Ruído Aeronáutico é todo ruído gerado pela movimentação das aeronaves em operação, tanto no ar quanto no solo. As maiores fontes geradoras de ruído de uma aeronave em operação são provenientes dos motores em funcionamento e do seu deslocamento em elevadas velocidades no ar. (MORAIS, 2008).

Em vista da estagnação da tecnologia de redução de ruído nos motores das aeronaves, os procedimentos operacionais com redução de ruído tornam-se importantes instrumentos para minimizar a poluição sonora aeronáutica. Com os níveis de ruído acima do limite e a falta de recursos para adquirirem aeronaves com tecnologias menos ruidosas, principalmente nos países em desenvolvimento, outros instrumentos, como os procedimentos operacionais diferenciados no pouso e decolagem, devem ser adotados como forma de minimizar o impacto do ruído causado pelas aeronaves sobre a população exposta. Esses procedimentos especiais são adotados por autoridades aeroportuárias nos aeroportos no mundo todo com absoluto sucesso, reduzindo de forma significativa o incômodo nas áreas afetadas. Alguns aeroportos possuem procedimentos próprios, que foram formalmente definidos de acordo com as diretrizes internacionais e aprovados pela Federal Aviation Administration (FAA), nos EUA. Cada aeroporto pode adotar um ou mais procedimentos, aplicáveis a cada cabeceira das pistas (MORAIS, 2008).

Em função do impacto causado pelo ruído aeronáutico e aeroportuário, são tomadas medidas a fim de minimizar ou até solucionar problemas atuais ou futuros, são essas medidas, análise do local de implantação, buscando locais fora da área urbana, com preferência por áreas desabitadas, restrições operacionais, de acordo com horários e aeronaves, levando em conta sua tecnologia entre outras medidas.

2.7 RUÍDO AEROPORTUÁRIO

“Ruído Aeroportuário é todo ruído gerado pelo aeroporto em operação, ou seja, compreende não só o ruído aeronáutico, mas também o ruído produzido pela atividade de todos os equipamentos necessários ao funcionamento operacional do aeroporto.” (MORAIS, 2008, p. 11).

As fontes geradoras de ruído em um aeroporto podem ser divididas em dois grandes grupos: os ruídos próprios do aeroporto, provenientes da instalação, funcionamento e utilização deste e as fontes de ruído induzidas, características do local, associadas indiretamente à existência do aeroporto. Estes dois grupos ainda podem ser subdivididos em fontes fixas ou móveis, o que está diretamente condicionado à distribuição dos níveis sonoros no seu entorno (SANCHO & SENCHERMES apud MORAIS, 2008).

Tabela 1. Classificação das fontes de ruído

Fontes próprias		Fontes induzidas	
Móvel	Fixa	Móvel	Fixa
Aeronaves (vôo)	Manutenção das aeronaves	Tráfego em avenidas e autopistas (chegadas e partidas do aeroporto)	Áreas industriais
Aeronaves (solo)	Serviços mecânicos nos terminais		Centros comerciais (serviços do aeroporto)
Ônibus (transporte interior)	Sistema de carga e descarga	Serviço de helicóptero	Zonas residenciais
Veículos (do aeroporto)	Subestações elétricas		
APU	Geradores de emergência		
Cisternas (depósitos)	Estacionamento		

Fonte: MORAIS, 2008.

Embora não circule propriamente na malha urbana, o transporte aéreo afeta consideravelmente a vizinhança do entorno de seus terminais e das regiões sobrevoadas com alguma intensidade (SOUZA, 2004, CARVALHO JÚNIOR et al., 2013). Esta é uma condição que vem se tornando comum a muitas cidades, com a popularização das viagens aéreas (NABINGER, 2005; STEWART, 2005).

Naturalmente, os aeródromos são projetados para interferirem o mínimo na vida urbana. Entretanto, a cidade avança, seguindo as infraestruturas básicas destinadas aos aeroportos, como sistema de saneamento básico e abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica, integração viária, entre outros (NABINGER, 2005). Isto resulta em restrições futuras à operação de aeroportos a fim de assegurar o bem-estar da vizinhança, implicando na sustentabilidade econômica do terminal (CARVALHO JÚNIOR et al., 2012).

O ruído aeroportuário proveniente dos procedimentos operacionais das aeronaves expõe a população das áreas vizinhas aos aeroportos a altos níveis de ruído, como já explanado anteriormente. Na tentativa de amenizar os efeitos causados pela atividade aeroportuária nessas comunidades, algumas medidas para o controle do impacto ambiental sonoro são propostas como: restrições para operações de aeronaves, limite do horário de operação, uso do

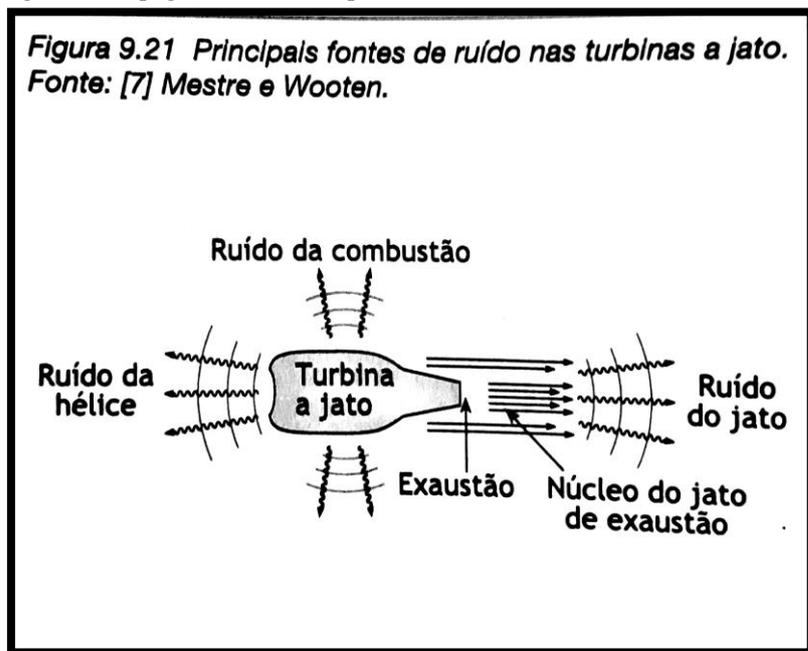
solo, procedimentos operacionais de pouso e decolagem, entre outros (MORAIS, 2008).

2.7.1 Principais Fontes de Ruído Aeroportuário

“As maiores fontes geradoras de ruído nas aeronaves são decorrentes da propulsão (motores) e do ruído aerodinâmico, gerado pela estrutura em contato com o ar em alta velocidade, maiores causadores do incômodo percebido pelas populações vizinhas aos aeroportos. “(DGAC apud MORAIS, 2008).

Segundo Bistafa (2006), “A turbina a jato é a fonte sonora mais significativa nos aviões. Abaixo segue uma imagem ilustrando como são propagados os ruídos pelas turbinas”.

Figura 6. Propagação de ruído a partir das turbinas



Fonte: Livro – Acústica Aplicada ao Controle de Ruído (2006).

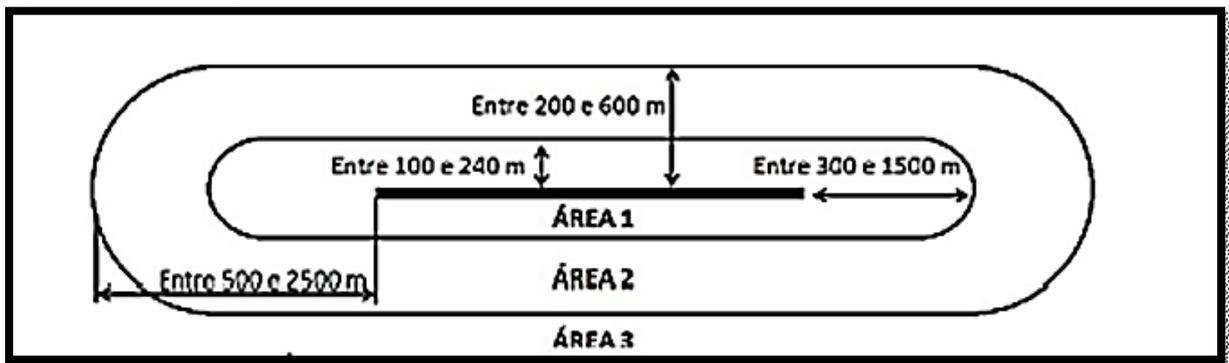
2.8 NORMAS, PORTARIAS E LEGISLAÇÕES RELACIONADAS A PROPAGAÇÃO DE RUÍDO

Nesse Capítulo será abordada de forma sucinta e objetiva todas as leis, portarias e legislações nacionais que serviram de parâmetro e referência para análises dos trabalhos estudados e dos ruídos propriamente, assim como as atividades e restrições relacionadas aos aeroportos.

2.8.1 Portaria Nº 1.141/GM5/1987

A Portaria 1.141/GM5 de 1987 estabelece o Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) com o objetivo de controlar o uso e ocupação do solo nos arredores dos aeroportos, visto que os níveis sonoros nestas áreas são bastante altos. Os ruídos gerados pela operação aeroportuária são estabelecidos pelo Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), que é um documento normativo do Comando da Aeronáutica, estabelecendo restrições de uso do solo, constituídas pelo PBZR que definem as áreas de impacto do ruído aeronáutico. Essas áreas podem ser visualizadas na Figura 7 onde: Área 1 – Interior a curva de nível de ruído 1, onde o nível de incômodo sonoro é potencialmente nocivo aos em seu entorno, podendo ocasionar problemas fisiológicos, devido as exposições prolongadas, sendo o IPR de 75 dB(A); Área 2 – Área do Plano de Zoneamento de Ruído, compreendida entre as curvas de nível de ruído 1 e 2 com valores médios do IPR entre 65 dB(A) e 75 dB(A), onde são registrados níveis de incômodo sonoro moderado; Área 3 – Área do Plano de Zoneamento de Ruído, exterior à curva de ruído de nível 2, onde normalmente não são registrados níveis de incômodo sonoro significativos com o valor do IPR sendo inferior a 65 dB(A).

Figura 7. Áreas de Impacto PBZR.



Fonte: Portaria 1.141/GM5/1987.

2.8.2 NBR 10.856/1989

A NBR 10.856 determina o nível efetivo de ruído percebido “Effective Perceived Noise Level” (EPNL), nas medições de ruído de sobrevoo de aeronaves. O EPNL analisa as três propriedades básicas do ruído: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação no tempo.

2.8.3 NBR 11.415/1990

A NBR 11.415/1990 estabelece termos e grandezas empregados no ruído aeronáutico e descreve a quantidade máxima de exposição diária permissível dos níveis de ruído que uma pessoa está sujeita, onde o tempo máximo de exposição para um ruído de 85 dB(A) é de 8 horas diárias e para um ruído de 115 dB(A) é de 7 minutos diários.

2.8.4 NBR 12.859/1993

A NBR 12.859 analisa os níveis de incômodo sonoro e fixa condições para gerar curvas isofônicas em áreas sujeitas ao ruído gerado por operações aeronáuticas. O método de avaliação do incômodo sonoro é calculado pelo Índice Ponderado de Ruído (IPR). A Tabela 2 relaciona os valores de IPR conforme a reação da comunidade.

Tabela 2. Relação entre IPR e a reação das comunidades.

Valor do IPR	Reação da Comunidade exposta a este nível de incômodo
IPR < 53	Nenhuma reclamação é esperada. Ambiente pouco ruidoso
53 < IPR < 60	E esperado grande volume de reclamações por parte dos residentes. Ambiente medianamente ruidoso
IPR > 60	São esperadas reclamações generalizadas por parte dos residentes. É possível ação comunitária em prol da redução do nível de ruído

Fonte: NBR 12.859 (1993).

2.8.5 NBR 13.368/1995

A NBR 13.368/95 prescreve o método para monitoramento de ruídos gerados por aeronaves que verifica a existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico (L_{ra}) em relação ao ruído de fundo (L_{rf}), conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Impacto sonoro gerado pelo Lra em relação ao Lrf.

Impacto sonoro	Lra - Lrf (dB)
Desprezível	< 3
Significativo	> 3

Fonte: NBR 13.368 (1995).

O valor encontrado para o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), durante as medições, deve ser comparado com os valores da Tabela 4, visando à avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Tabela 4. Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Reclamações esperadas	Diurno	Noturno
Sem reação ou queixa esporádicas	$L_{eq} < 65$	$L_{eq} < 55$
Queixas generalizadas - Possíveis ações da comunidade	$75 > L_{eq} > 65$	$65 > L_{eq} > 55$
Ações comunitárias vigorosas	$L_{eq} > 75$	$L_{eq} > 65$

Fonte: NBR 13.368 (1995).

2.8.6 Legislação Ambiental - Resolução CONAMA nº 01/1990 e NBR 10.151/2000.

A Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01, dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propaganda política. Para a resolução ser aplicável, as medições deverão ser feitas conforme a NBR 10.151 (ABNT) que fixa os níveis de ruído superiores que são prejudiciais à saúde e estabelece condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em áreas habitadas, visando o conforto das comunidades e especifica um método para a medição de ruído.

O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), ponderados em dB(A). Estabelece níveis de ruídos em seis áreas distintas, sendo cinco áreas urbanas e uma área rural (Tabela 5).

Tabela 5. Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR. 10.151 (2000).

2.8.7 Política Nacional da Aviação Civil (PNAC) - nº 6.780/2009

O Decreto nº 6.780/2009 aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) corresponde ao conjunto de diretrizes e estratégias que nortearão o planejamento das instituições responsáveis pelo desenvolvimento da aviação civil brasileira, estabelecendo objetivos e ações estratégicas para esse setor, e integra-se ao contexto das políticas nacionais brasileiras. O principal propósito da PNAC é assegurar à sociedade brasileira o desenvolvimento de sistema de aviação civil amplo, seguro, eficiente, econômico, moderno, concorrencial, compatível com a sustentabilidade ambiental, integrado às demais modalidades de transporte e em função da capacidade produtiva e de prestação de serviços nos âmbitos nacional, sul-americano e mundial (BRASIL, 2009).

Os objetivos do PNAC são: segurança, prestação do serviço adequado, proteção ao meio ambiente, proteção do consumidor, o desenvolvimento da aviação civil e a eficiência das operações da aviação civil. Também apresenta como ações gerais para o meio ambiente:

- Estimular a redução dos níveis de ruídos de motores das aeronaves.
- Minimizar o impacto das emissões de gases de motores das aeronaves na qualidade do ar;
- Promover o envolvimento das entidades relacionadas à aviação civil na proteção do meio ambiente.
- Estimular o desenvolvimento e o uso de tecnologias que reduzam os impactos da atividade aeronáutica no meio ambiente.

Como ações específicas para o meio ambiente o PNAC indica:

- Assegurar a inclusão dos aspectos ambientais no planejamento, implantação e operação dos aeródromos.
- Buscar permanentemente a redução dos impactos adversos provocados pelo ruído aeronáutico e emissões de gases de motores das aeronaves no meio ambiente.
- Adotar, nas questões relativas ao ruído, uma abordagem equilibrada, que consista nos seguintes elementos: redução do ruído na fonte, planejamento do uso do solo no entorno dos aeródromos, adoção de medidas mitigadoras e restrições operacionais, de acordo com os interesses nacionais.
- Incentivar o desenvolvimento de tecnologias no âmbito da aviação civil, com destaque para indústria aeronáutica, respeitando o meio ambiente.
- Promover e aprimorar medidas que desestimulem o adensamento populacional em áreas sujeitas a níveis significativos de emissão de ruídos e gases por parte de motores de aeronaves, em conformidade com a legislação referente às zonas de proteção de aeródromos, de ruídos, de auxílios à navegação e à área de segurança aeroportuária.
- Estimular e apoiar a adoção de políticas relacionadas ao meio ambiente nas áreas de entorno dos aeródromos nas esferas federal, estadual e municipal, visando ao estabelecimento de condições mais adequadas para a prática das atividades aeronáuticas.

- Aprimorar os procedimentos de navegação aérea em rota e em área terminal e de técnicas de voo que resultem em redução do impacto de ruído e emissões de gases de motores de aeronaves.
- Fomentar a educação ambiental junto à comunidade aeroportuária, às comunidades residentes em áreas de entorno de aeródromos.

2.8.8 Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) n 161 de 2013.

A mais recente legislação brasileira para zoneamento de ruídos de aeroportos, o RBAC 161 de 2013, tem como indicador de ruído DNL e estabelece um Plano de Zoneamento de Ruídos de Aeródromos (PZR) composto por até cinco curvas de ruído. Também apresenta as compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas. Anteriormente a essa resolução, o PZR era definido pela Portaria 1.141/GM5 de 1987 e exigia somente a elaboração de duas curvas isofônicas para estabelecer restrições ao uso do solo.

RBAC 161 estabelece também que as curvas de ruído deverão ser calculadas por meio de programa computacional que utilize metodologia matemática apropriada para a geração de curvas na métrica DNL, considerando como período noturno o período compreendido entre 22h e 7h do horário local. Essa resolução ainda define que o operador de aeródromo deve utilizar o critério apresentado a seguir para definir a obrigatoriedade de aplicação de um PEZR (Plano Específico de Zoneamento de Ruído):

- Para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 anos superior a 7.000, deve ser aplicado um PEZR;
- Para os demais aeródromos, é opcional ao operador de aeródromo escolher o tipo de plano a ser elaborado, Plano Básico de Zoneamento de Ruído – PBZR ou PEZR.
 - A ANAC poderá solicitar a elaboração de um PEZR a qualquer aeródromo. Ressalta-se que o PBZR possui curvas de ruído de 75 e 65. As cinco curvas de ruído que compõem o PEZR, na métrica DNL, são:
 - Curva de ruído de 85 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 85 dB.
 - Curva de ruído de 80 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 80 dB.
 - Curva de ruído de 75 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 75 dB.
 - Curva de ruído de 70 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 70 dB.
 - Curva de ruído de 65 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 65 dB.

Além disso, é indicado a classificação do uso do solo nas áreas próximas aos aeródromos e estabelecido os níveis de redução de ruído (NRR's) para edificações nessas regiões.

2.8.9 Resumo das Normas, legislações e portarias.

Após citado as normas, legislações e portarias acima, é visível que cada uma adota medidas e parâmetros diferentes, de métricas acústicas, de restrições e permissões e de finalidades diferentes, havendo certa semelhança entre algumas.

Abaixo segue a tabela 6, apresentando ainda de forma mais sintetizada as especificações visto acima.

Tabela 6. Normas e legislações brasileiras referentes ao ruído aeronáutico e ambiente.

Normas e Legislações	Mês / Ano	Aplicação	Métrica Acústica	Observações
Portaria 1.141/GM5	Dezembro de 1987	Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências.	IPR	Define o IPR como sendo uma unidade de avaliação do incômodo sonoro. A definição do IPR é a mesma indica na NBR 11.415.
NBR 10.856	Agosto de 1989	Fixa as condições exigíveis para a determinação do nível efetivo de ruído percebido “ <i>Effective Perceived Noise Level</i> ” (EPNL), nas medições de ruído de sobrevoos de aeronaves.	EPNL	
NBR 11.415	Novembro de 1990	Esta norma define os termos e grandezas na área de ruído aeronáutico.	IPR, DNL, L_{eq} , NEF, EPNL, etc.	Define vários conceitos utilizados na pesquisa em acústica.
NBR 12.859	Maio de 1993	Fixa as condições exigíveis para gerar curvas isofônicas e analisar os níveis de incômodo sonoro em função das áreas sujeitas ao ruído gerado por operações aeronáuticas.	IPR	Consultar a NBR 10.856 e NBR 11.415.
NBR 13.368	Maio de 1995	Prescreve o método para a monitoração de ruído gerado por aeronaves.	L_{eq}	Consultar a NBR 10.268 (Ruído nas dependências de terminais de passageiros aeroportuários) e NBR 11.415.
Resolução Conama 001	Março de 1990	Dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propaganda política.		Reporta-se à NBR 10.151.
NBR 10.151	Junho de 2000	Fixa os níveis de ruído superiores que são prejudiciais à saúde e estabelece condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em áreas habitadas, visando o conforto das comunidades e especifica um método para a medição de ruído.	L_{eq} dB(A)	Estabelece níveis de ruídos em seis áreas distintas, sendo cinco em regiões urbanas e uma em zona rural.
RBAC n. 161	Setembro de 2013	Estabelece os requisitos de elaboração do PZR e define critérios técnicos aplicáveis na análise de questões relacionadas ao ruído aeronáutico na aviação civil.	DNL	

Fonte: Carvalho Jr et al. (2013).

2.9 ESTUDOS RECENTES BRASILEIROS

A preocupação com a poluição sonora além das outras poluições cada vez vem se tornando mais presente, no Brasil já existem alguns estudos desenvolvidos e em desenvolvimento para a avaliação dos níveis de incômodo percebidos por residentes no entorno de aeroportos.

Nas tabelas abaixo serão apresentados os estudos nacionais recentes.

Tabela 7. Estudos nacionais recentes ligados ao ruído aeronáutico.

Autor	Modalidade de pesquisa / Objetivo	P/T ^a	TA ^b	Indicador acústico	Aeroporto
Eller (2000)	Dissertação / Avaliar a perda percentual do valor dos imóveis residenciais atingidos pelo ruído proveniente da operação de aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo.	Q			Aeroporto Internacional de São Paulo (SP)
Abdala (2005)	Dissertação / Desenvolvimento de um método para dimensionar curvas de ruído para zoneamento das áreas de entorno de pequenos aeródromos, que permita uma compatibilização entre os requisitos previstos nas legislações aeronáutica e ambiental.	MA		SEL	Aeroporto de Ponta Grossa (PR)
Nunes (2005)	Tese / Avaliação do ruído aeronáutico, nas proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre/RS com um estudo em escolas localizadas dentro da Zona I do Plano Específico de Zoneamento de Ruído.	Q e MF	557	DNL, L_{dn} , NEF e WECPNL.	Aeroporto Internacional Salgado Filho (RS)
Nabinger (2005)	Dissertação / Levantar e analisar, sob diferentes aspectos, dados sobre o ruído aeronáutico oriundos de atividades do Aeroporto Salgado Filho, registrados dentro da Área II, do PEZR, em Porto Alegre.	MF		L_{eq} , L_{max} , L_{min} e SEL.	Aeroporto Internacional Salgado Filho (RS)
Valim (2006)	Dissertação / Identificação e análise das diversas formas de atenuação do ruído aeronáutico, a fim de subsidiar a medida que seja mais adequada no aeroporto em estudo, visando a redução do impacto de sua incidência.	MA		DNL	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Carvalho Júnior. (2008)	Dissertação / Analisar a percepção de incômodo causado pelo ruído aeronáutico em regiões próximas ao Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR).	Q e MF	105	IPR, L_{eq} , L_{max} , L_{min} e SEL.	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Morais (2008)	Tese / Verificar a eficiência das barreiras acústicas e seu dimensionamento a custos acessíveis quando implantadas ao longo da pista de pouso e decolagem dos aeroportos, como forma de reduzir a interferência produzida pelo ruído emitido pelas aeronaves no solo, durante estes procedimentos, no sono da população situada no entorno da pista.	MA		SEL	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Rocha (2009)	Dissertação / Elaborar um instrumento para mapear a influência sonora dos aeroportos, com base nos critérios da NBR 10.151 (Zoneamento de Influência Sonora - ZIS).	MA e CP		DNL e SEL	Aeroporto de Congonhas (SP)
Carvalho (2010)	Dissertação / Propôs ferramentas para auxiliar à aplicação da Abordagem Equilibrada. Estas ferramentas seriam o Indicador de Desbalanceamento Sonoro para o impacto de ruído de aeronaves e os Coeficientes de Sensibilidade.	MA		DNL, L_d e L_n em dB(A)	Congonhas (SP), Recife (PE), Pampulha (MG) e Curitiba (PR).
Neto (2010)	Dissertação / Analisar a extensão do impacto sonoro produzido pelas operações de aeronaves no Aeroporto de São José dos Campos.	MA	129	DNL	Aeroporto de São José dos Campos (SP)
Helena (2010)	Dissertação / Propor alternativas para o zoneamento aeroportuário baseado na Norma Brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000).	MA e CP (1)		DNL, L_d e L_n em dB(A)	Aeroportos de Congonhas (SP) e Recife (PE).

Fonte: Tese de Doutorado - Quantificação Do Incômodo Gerado Pelo Ruído Aeronáutico Por Meio De Modelos Dose-Resposta (2015).

Tabela 8. Estudos nacionais recentes ligados ao ruído aeronáutico.

Barbosa (2011)	Dissertação / Investigar as opiniões de uma população composta por indivíduos civis e militares que residem próximos da Base Aérea de Santa Maria (BASM).	Q	400		Base Aérea de Santa Maria (BASM – RS)
Dinato (2011)	Tese / Verificar como a população, no entorno do Aeroporto de Ribeirão Preto, é afetada pela operação das aeronaves.	MA e MF		DNL	Aeroporto de Ribeirão Preto (SP)
Caldas (2013)	Tese / Avaliar a evolução da legislação brasileira para gerenciamento do ruído aeronáutico, apresentando os elementos considerados necessários para formulação de uma política de gestão integrada desses impactos no Brasil, apontando objetivos, instrumentos, metas e meios para aplicação das medidas de controle determinadas pela legislação e normas técnicas relativas ao tema.	(2)			

Notas: Q = aplicação de questionários / MF = medidas físicas de longo prazo em vários pontos / MA = elaboração de mapas acústicos / CP = cálculo da população exposta / (1) Cálculo do número de pessoas altamente incomodadas (%AI) dentro de cada curva de ruído pelo método *fuzzy* / (2) Proposta de uma Política de Gestão Integrada dos Impactos do Ruído Aeronáutico / PI²: Procedimento e instrumento / TA^b – Tamanho da amostra

Fonte: Tese de Doutorado - Quantificação Do Incômodo Gerado Pelo Ruído Aeronáutico Por Meio De Modelos Dose-Resposta (2015).

3. MÉTODO

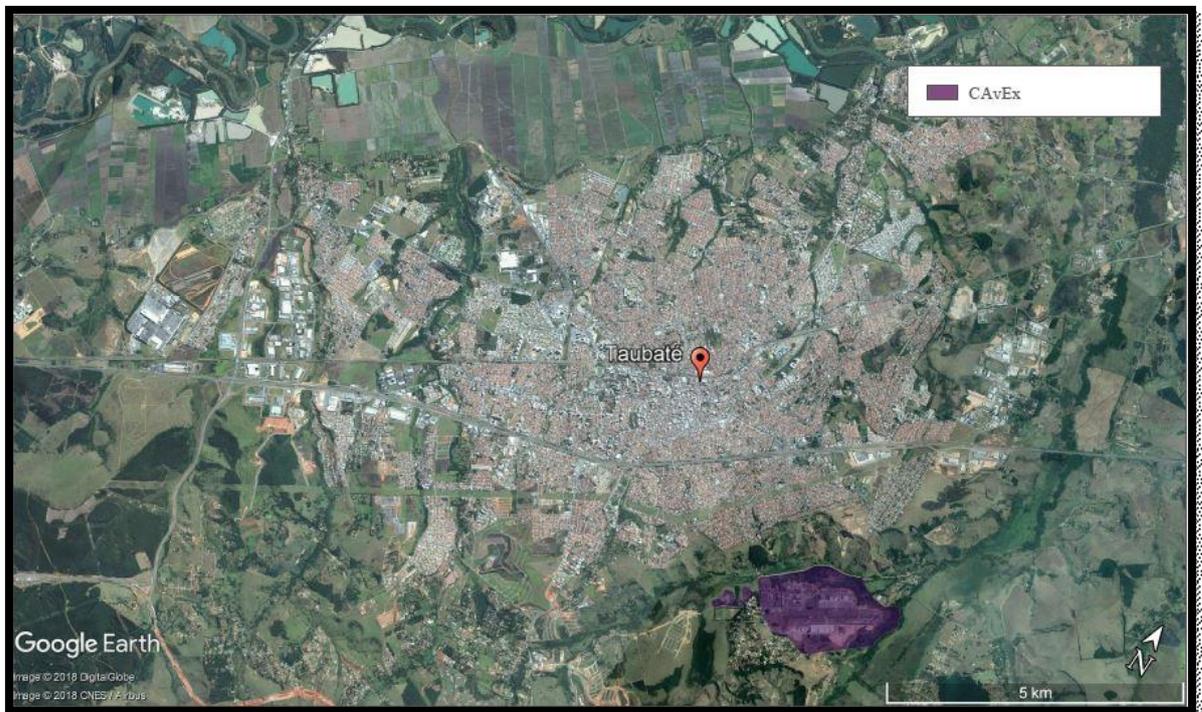
Após toda revisão e aprofundamento sobre o tema acústica, se inicia etapa do trabalho de pesquisa, neste capítulo será abordado metodologia utilizada no processo.

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA

A primeira etapa foi a definição da área, no município de Taubaté, na Estrada Municipal dos Remédios, número 2135, Bairro Granjas Rurais Reunidas São Judas Tadeu fica localizado o Aeródromo do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx).

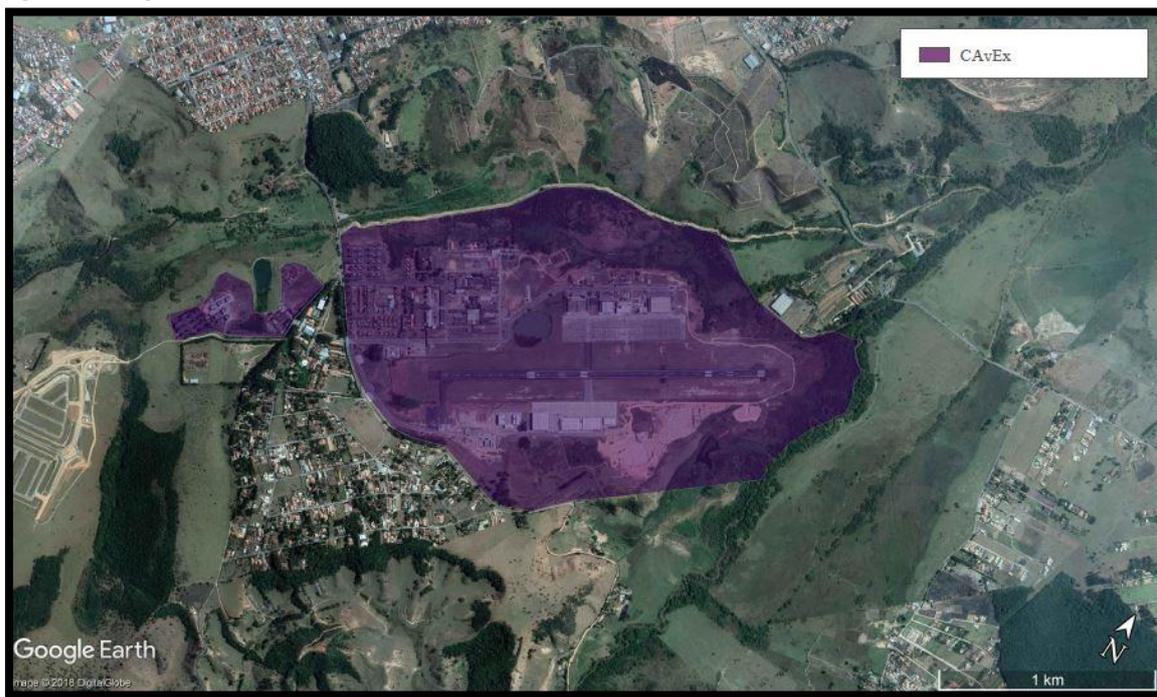
Mesmo fora da área central, o CAvEx ainda sim está dentro da área urbana, considerado zona especial de planejamento e zona especial urbana conforme o plano diretor de 2017 de Taubaté, ao seu redor possui bairros residenciais e até mesmo instituições, portanto a partir da escolha desta área, buscaremos ferramentas necessárias para fazer a avaliação urbana do local.

Figura 8. Imagem de satélite Taubaté



Fonte: Própria

Figura 9. Imagem de satélite CAVEx



Fonte: Própria

Figura 10. Imagem Aérea parte administrativa CAVEx



Fonte: Alide, 2005.

Figura 11. Imagem Aérea pista CAVEx



Fonte: Alide, 2005.

Figura 12. Imagem Aérea hangares CAVEx



Fonte: Alide, 2005.

Figura 13. Fotografia aérea do CAVEx.



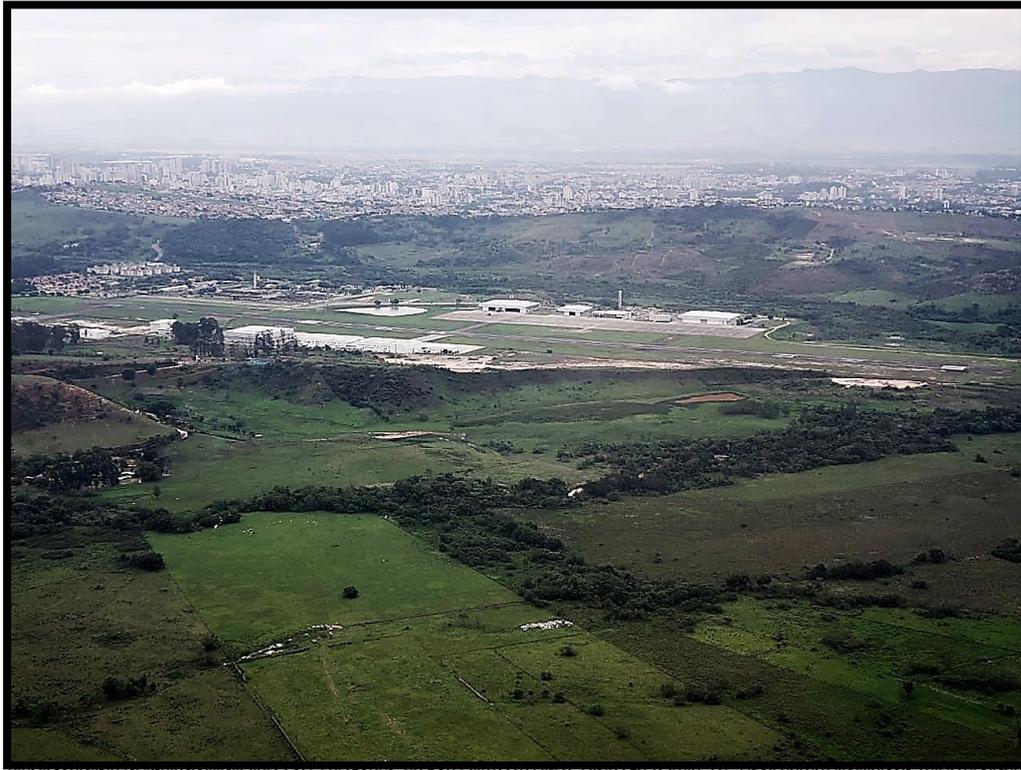
Fonte: Própria, 2018.

Figura 14. Fotografia aérea CAVEx.



Fonte: Própria, 2018.

Figura 15. Fotografia aérea CAVEx.



Fonte: Própria, 2018.

Figura 16. Fotografia aérea CAVEx.



Fonte: Própria, 2018.

3.2 VISITA TÉCNICA E LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES.

Posterior a definição da área foi feito a visita técnica ao Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx), durante a visita foi feito registros fotográficos e levantamento de informações, entre elas os modelos de aeronaves que. Possuíam no local.

Figura 17. Entrada CAvEx.



Fonte: Própria.

Figura 18. Entrada do CAVEx.



Fonte: Própria.

Figura 19. Vista afastada dos hangares e pista de pouso e decolagem.



Fonte: Própria.

Figura 20. Pista de pouso e decolagem.



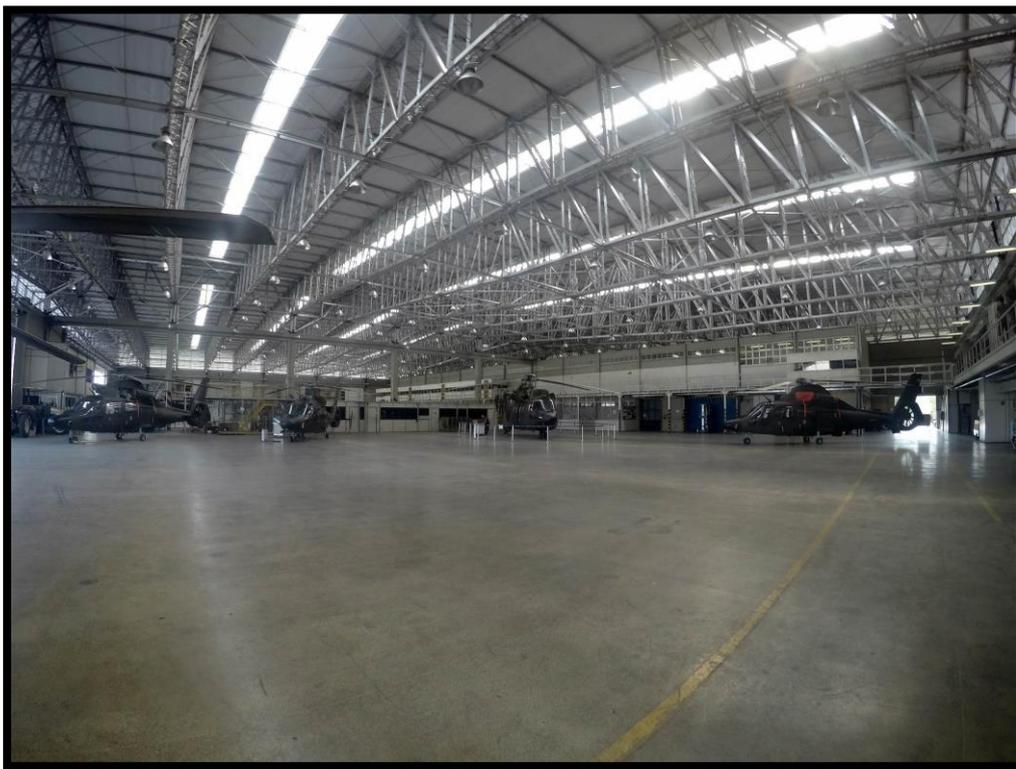
Fonte: Própria.

Figura 21. Pista de pouso e decolagem.



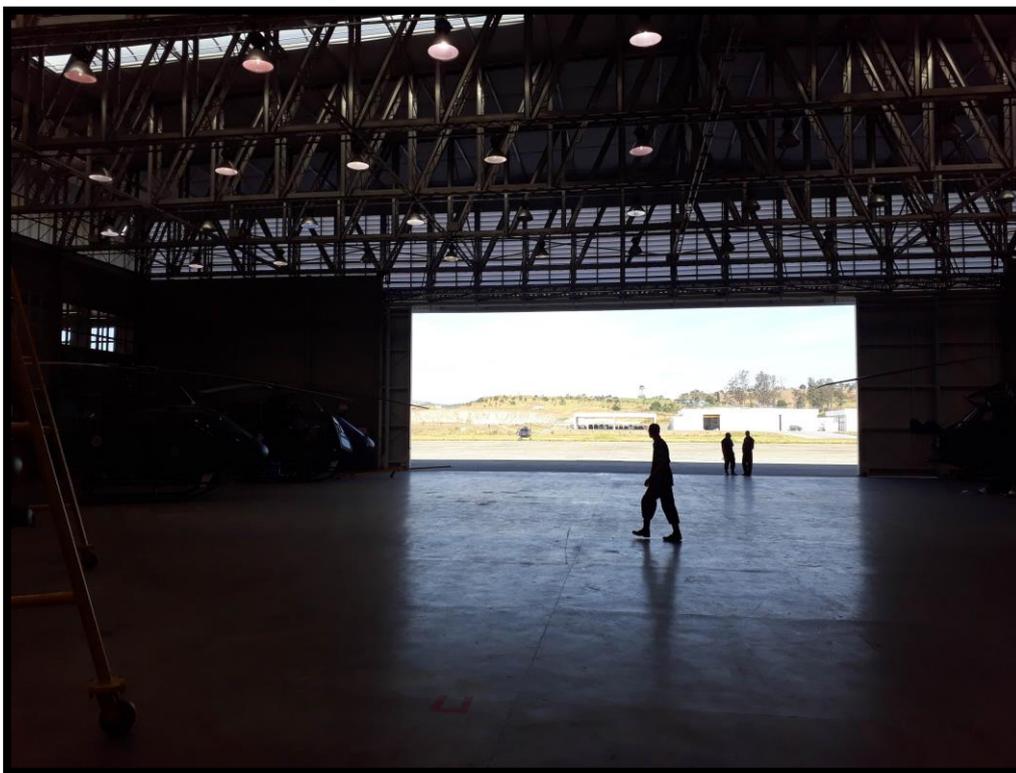
Fonte: Própria.

Figura 22. Área interna do hangar com aeronaves.



Fonte: Própria.

Figura 23. Área interna do hangar.



Fonte: Própria.

Figura 24. Modelo de aeronaves.



Fonte: Própria.

Figura 25. Modelo de aeronaves.



Fonte: Própria.

Figura 26. Modelo de aeronaves.



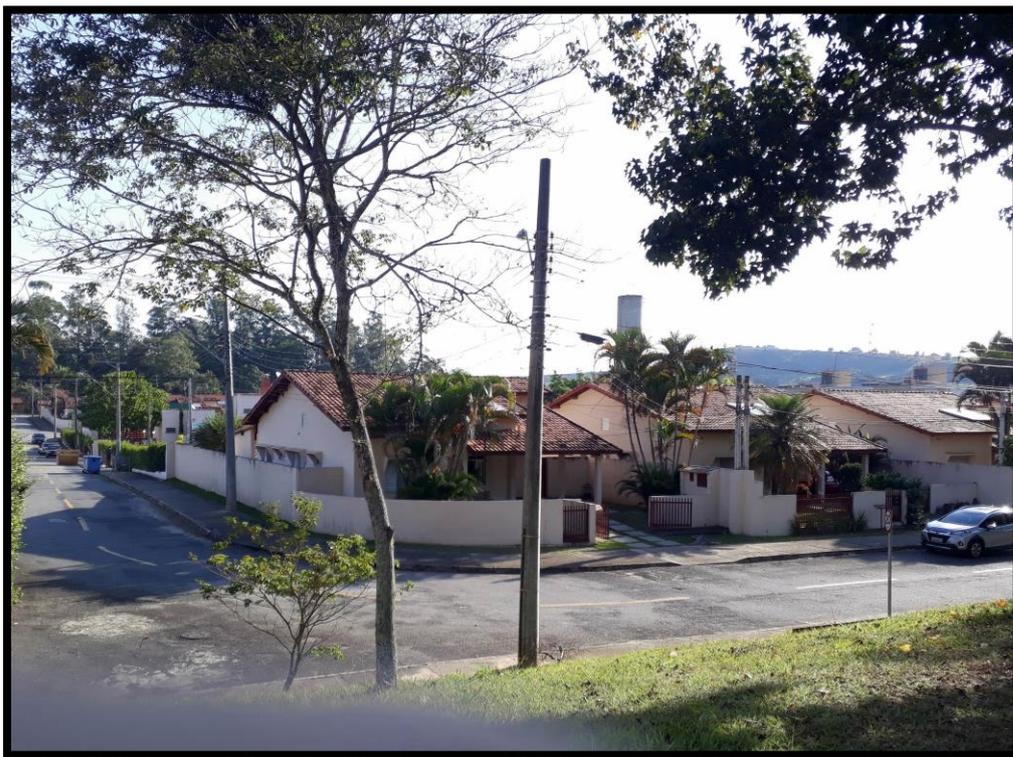
Fonte: Própria.

Figura 27. Modelo de aeronaves.



Fonte: Própria.

Figura 28. Vila militar (área residencial).



Fonte: Própria.

Figura 29. Vila militar (área residencial).



Fonte: Própria.

Figura 30. Vila militar (área residencial).



Fonte: Própria.

3.3 USO DO SOLO

Após definição da área, a segunda etapa foi baseada na leitura do entorno do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx), por meio de mapa de uso de solo, em uma escala maior, sem se preocupar com atividades pontuais, pois o objetivo principal era levantar qual uso era mais representativo no entorno do mesmo.

3.4 ELABORAÇÃO DO PBZR CONFORME RBAC 161

Posteriormente feita leitura do local, foi solicitado ao Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx), o Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), de forma que pudesse ser verificado quais locais e usos eram afetados por quais níveis de ruído.

Após informado que o CAvEx não possuía plano básico ou específico de zoneamento de ruído, devido ao fato de aeródromos militares não serem homologados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), buscou-se ferramentas necessárias para o desenvolvimento do plano,

sendo passado as movimentações anuais referente ao aeródromo para que fosse possível o desenvolvimento do plano.

Tabela 9. Movimentações anuais das aeronaves

Ano	Movimentações
2014	24.890
2015	21.385
2016	20.177
2017	19.180
Média	21.367,5

Fonte: Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx).

Conforme abordado anteriormente no capítulo de revisão bibliográfica, o Registro Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 161 estipula dois segmentos de Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), o Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) e o Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR).

Segundo a lei até 7 mil movimentações anuais o PBZR atende as necessidades, excedendo 7 mil movimentações é necessário a elaboração do PEZR.

Apesar do número de movimentações das aeronaves excederem 7 mil, foi informado que a maioria das movimentações eram em função dos helicópteros nos helipontos, pois havia pouco uso da pista respectivamente, além disso, devido a necessidade de profundo conhecimento profissional sobre o assunto, falta de instrumentos e softwares disponíveis, seguiu-se a pesquisa com a elaboração do PBZR.

Na tabela abaixo é apresentado no caso do PBZR como deve ser classificado.

Tabela 10. Dimensões (em metros) das Curvas de Ruído de 75 e 65.

Dimensões (em metros) das Curvas de Ruído de 75 e 65					
Movimento anual	Classe	L1	R1	L2	R2
Até 400	1	70	30	90	60
De 401 a 2.000	2	240	60	440	160
De 2.001 a 4.000	3	400	100	600	300
De 4.001 a 7.000	4	550	160	700	500

Fonte: Registro Brasileiro de Aviação Civil (RBAC), 2013.

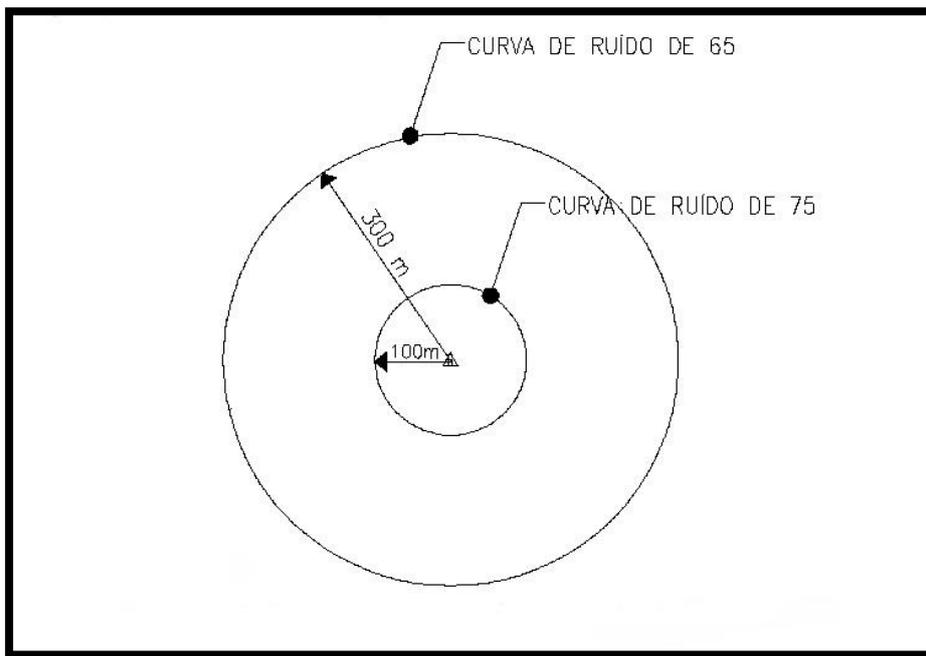
Conforme a tabela acima, baseado nas informações anteriores, foi estipulado um valor médio, sendo classificação 2. Após classificado, as curvas de ruído do PBZR foram obtidas por meio formas geométricas simplificadas no software Autocad 2017 juntamente a imagem de satélite importada do Google Earth, suas configurações e dimensões foram feitas por meio do enquadramento da pista com os valores respectivos a sua classificação, como é apresentado na figura 31 abaixo.

Figura 31. Instruções PBZR.



Fonte: Registro Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 161, 2013.

Figura 32. Instruções PBZR.



Fonte: Registro Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 161, 2013.

3.5 ANÁLISE DE ÁREAS AFETADAS PELO RUIDO CONFORME RBAC

Com o PBZR concluído, apresentando quais áreas possuem qual nível de ruído, lei RBAC 161 apresenta qual uso é permitido em função do nível de ruído presente no local, conforme a tabela 11 a seguir.

Tabela 11. Usos compatíveis e incompatíveis para áreas abrangidas por PBZR.

Uso do Solo	Nível de ruído médio dia-noite (dB)		
	Abaixo de 65	65 – 75	Acima de 75
Residencial			
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N
Alojamentos temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Usos Públicos			
Educacional (exemplos: universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Igrejas, auditórios e salas de concerto (exemplos: igrejas, templos, associações religiosas, centros culturais, museus, galerias de arte, cinemas, teatros ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Serviços governamentais (exemplos: postos de atendimento, correios, aduanas ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Transportes (exemplos: terminais rodoviários, ferroviários, aeroportuários, marítimos, de carga e passageiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	35
Estacionamentos (exemplo: edifício garagem ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Usos Comerciais e serviços			
Escritórios, negócios e profissional liberal (exemplos: escritórios, salas e salões comerciais, consultórios ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Comércio atacadista - materiais de construção, equipamentos de grande porte	S	25	N
Comércio varejista	S	25	N
Serviços de utilidade pública (exemplos: cemiterios, crematórios, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água, geração e distribuição de energia elétrica, Corpo de Bombeiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Serviços de comunicação (exemplos: estações de rádio e televisão ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Usos Industriais e de Produção			
Indústrias em geral	S	25	N
Indústrias de precisão (Exemplo: fotografia, óptica)	S	25	N
Agricultura e floresta	S	S (3)	S (4)
Criação de animais, pecuária	S	S (3)	N
Mineração e pesca (exemplo: produção e extração de recursos naturais)	S	S	S
Usos Recreacionais			
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N
Exposições agropecuárias e zoológicos	S	N	N
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	25	N

Fonte: RBAC 161, 2013.

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.

(1) Sempre que os órgãos determinarem que os usos devam ser permitidos, devem ser adotadas medidas para atingir uma RR de pelo menos 25 dB.

(2) Edificações residenciais requerem uma RR de 25 dB.

(3) Edificações residenciais requerem uma RR de 30 dB.

(4) Edificações residenciais não são compatíveis.

3.6 ANÁLISE DO PLANO DIRETOR

Após análise das áreas afetadas, foi analisado o plano diretor de Taubaté de 2017, buscando por informações relacionados a questão de propagação de ruído no bairro, possíveis regulamentações que instituíssem padrões e limites para o local.

3.7 PESQUISA DE CAMPO

Para entendimento do perfil da população local e análise pontual das construções afetadas pelo nível de ruído, de modo que fosse verificado sua compatibilidade, de acordo com as medidas necessárias de aplicação para a redução do ruído, foi elaborado um questionário com 11 perguntas.

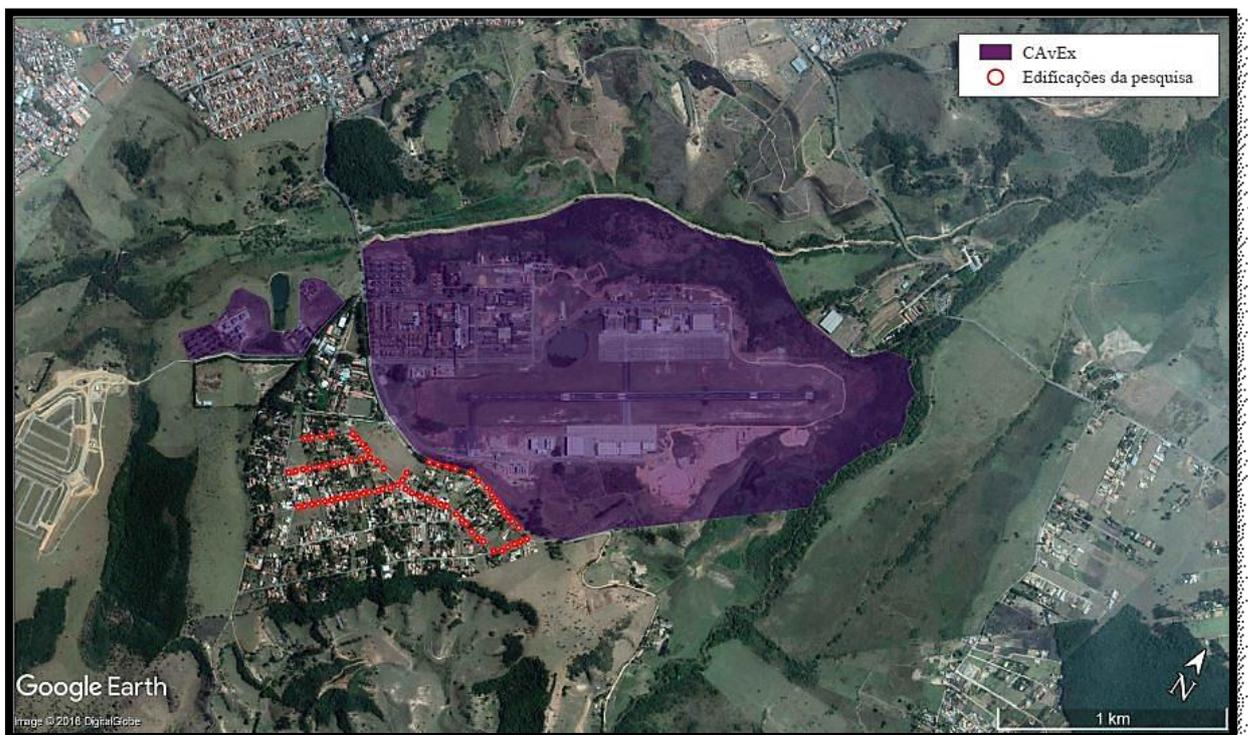
1. Sexo Masculino ou Feminino?
2. Qual a idade?
3. Nível de escolaridade?
4. Quanto tempo reside no local?
5. Residência é própria?
6. Se sente incomodado com o ruído proveniente dos movimentos das aeronaves? (nível de incomodo de 0 a 10)
7. Qual período se sente mais incomodado? Manhã, tarde ou noite?
8. Os ruídos prejudicam em alguma das seguintes atividades?

- A- Atividades cotidianas, B- lendo/ estudando, C- assistindo TV, D- falando no telefone, E- dormindo ou F- meditando/ rezando.
9. Caso se sinta prejudicado em alguma atividade devido ao ruído, qual nível que se sente prejudicado? (nível de incomodo de 0 a 10)
10. Já pensou em mudar-se devido ao ruído do proveniente do aeródromo?
11. Já implementou ou pensou em implementar mudanças devido ao ruído no local?
- Caso sim, quais? Ex: janelas, portas, cobertura...
 - Caso não, por que? Custo? Não sabe o que fazer? Não sabe onde encontrar materiais para isso?

Após submetido e aprovado pelo comitê de ética da Universidade de Taubaté, iniciou-se a pesquisa no local respectivamente.

A pesquisa envolveu 50 participantes, a partir dos dados obtidos com a pesquisa foi elaborado gráficos com porcentagens de acordo com as perguntas, gráficos de qualificações, avaliações e por final análises específicas.

Figura 33. Edificações da pesquisa.



Fonte: Própria.

Juntamente ao questionário foi feito também uma avaliação subjetiva a partir do que era visível durante a entrevista na fachada das edificações, relacionado ao acabamento da construção, com foco nas esquadrias e cobertura.

3.8 ELABORAÇÃO DE CARTILHA COM MEDIDAS PARA ATENUAÇÃO DO RUÍDO.

Após a conclusão da pesquisa foi elaborado uma cartilha com algumas orientações com informações gerais a fim de orientar pessoas que possuem interesse em implementar tal medidas, porém não dispensa necessidade de um profissional da área.

4. RESULTADOS

Nesse capítulo será apresentado todos resultados obtidos por meio da metodologia explicada anteriormente.

4.1 MODELOS DE AERONAVES (DADOS OBTIDOS DURANTE VISITA TÉCNICA).

4.1.1 HM-1 Pantera (AS-565 Panther).

Figura 34. HM-1 Pantera (AS-565 Panther).



Fonte: Disponível em: <<http://www.brasilemdefesa.com/2013/05/hm-1-pantera-as-565-panther.html>>

- designação local: as365-k / hm-1
- país: Brasil
- quantidade: max/inicial:36
- em serviço:34
- comprimento: 11.6 m
- envergadura: 11.9 m
- altura: 3.9
- motores: 2 x motores turbomeca/safran arriel 1m1
- potência total: 1566 hp/cv
- peso vazio: 2255 kg
- peso máximo/descolagem: 4250 kg
- número de suportes p/ armas: 0
- capacidade de carga/armamento: 1600 kg
- tripulação: 2
- passageiros: 8 a 10

- velocidade máxima: 296 km/h
- de cruzeiro: 230 km/h
- autonomia standard /carregado : 650 km
- autonomia máxima / leve 875 km.
- canhões: - 1 x 20mm m-621 (calibre: 20)

4.1.2 Helibrás HB 350 Esquilo.

Figura 35. Helibrás HB 350 Esquilo.



Fonte: Disponível em: < veiculosearmamentosmilitares.blogspot.com/2016/12/helibras-hb-350-esquilo.html >

- tipo: helicóptero utilitário leve
- país de origem: França
- fabricante: Aérospatiale, Eurocopter, Airbus Helicopters, Helibras
- período de produção: 1975-presente
- primeiro voo em: 26 de junho de 1974 (41 anos)
- introduzido em: 1975
- tripulação: 1 - piloto
- passageiros: 5 passageiro(s)
- - dimensões
- 10,93 m comprimento;
- 3,14 m altura;
- 89,75 m² área do(s) rotor(es);
- 10,7 m diâmetro do(s) rotor(es);
- - peso
- 1 174 kg vazio
- 2 250 kg máximo
- - motor: 1x turbomeca arriel 2b
- potência: 847 hp (632 kw)
- velocidade máxima :245 km/h
- alcance: 662 km

- autonomia: 4,1 horas
- teto máximo: 4 600 m
- razão de subida: 8,5 m/s

4.1.3 Caracal Hm-4 (Ec-725).

Figura 36. Caracal Hm-4 (Ec-725).



Fonte: Disponível em: <<http://www.brasilemdefesa.com/2016/07/ec-725-caracal.html>>

- função: helicóptero de transporte militar.
- fabricante: União Europeia Airbus Helicopters.
- primeiro voo: 27 de novembro de 2000.
- tripulação: 2 (1 piloto e copiloto 1) + 1 tripulação mecânico.
- capacidade: 1 chefe da vara + 28 tropas ou 5.670 kg.
- motor: 2 motores turbomeca makila 2a (ou 2a1).
- tipo de motor: turbina.
- consumo: 800 litros de querosene por hora de voo.
- número de lâminas do rotor principal: 5.
- - dimensões.
- 16,20 m diâmetro do rotor
- 19.50 m comprimento.
- 4,60 m altura.
- - massa.
- 5330 kg vazio.
- 5670 kg carregado.
- velocidade de cruzeiro: 285 km/h
- velocidade máxima: 324 km/h
- teto: 5030 m.

- taxa de subida: 360 m / min
- raio de ação: 857 km

4.1.4 AS - 532 – Cougar.

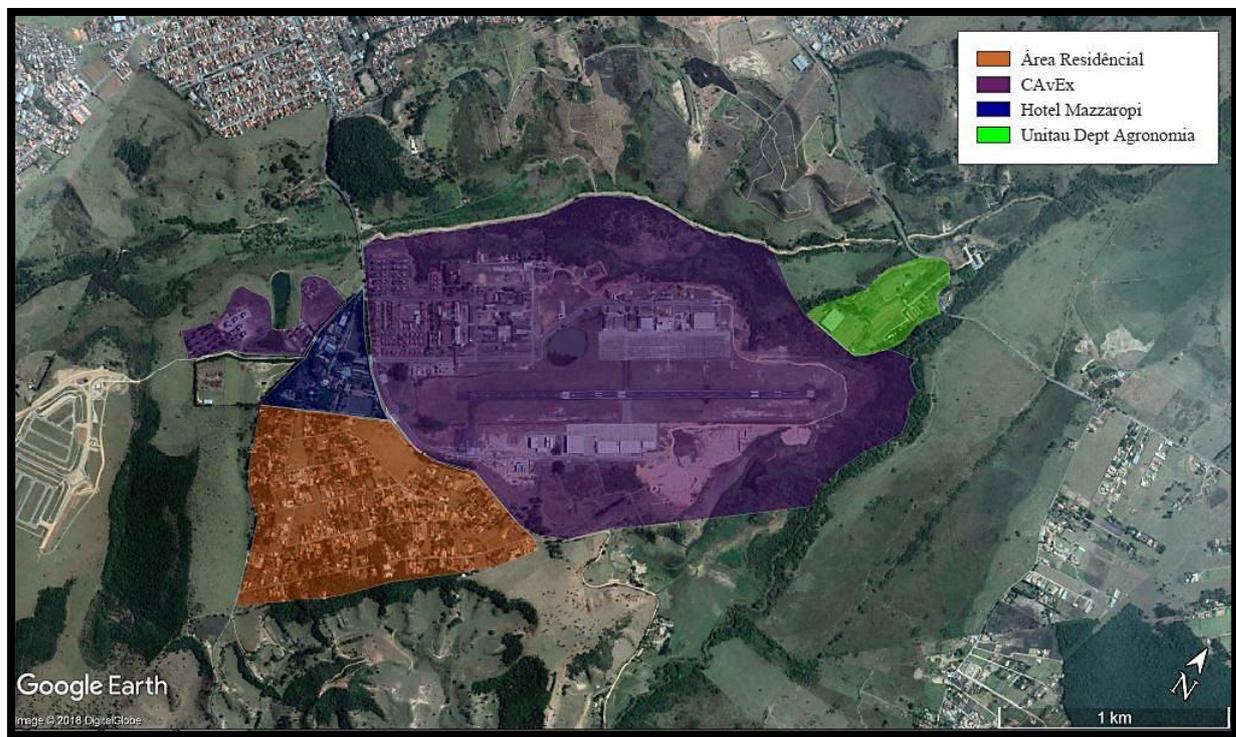


Fonte: Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_AS532_Cougar>

- tripulação: 2
- capacidade: 20 tropas
- comprimento: 15.53 m
- diâmetro rotor: 15.6 m
- altura: 4.92 m
- área dos rotores: 206 m²
- peso vazio: 4,350 kg
- capacidade de carga: 4,650 kg
- peso máximo de decolagem: 9,000 kg
- velocidade máxima: 249 km/h
- velocidade de cruzeiro: 239 km/h
- alcance: 573 km
- teto máximo: 3,450 m
- razão de subida: 7.2 m/s

4.2 USO DO SOLO.

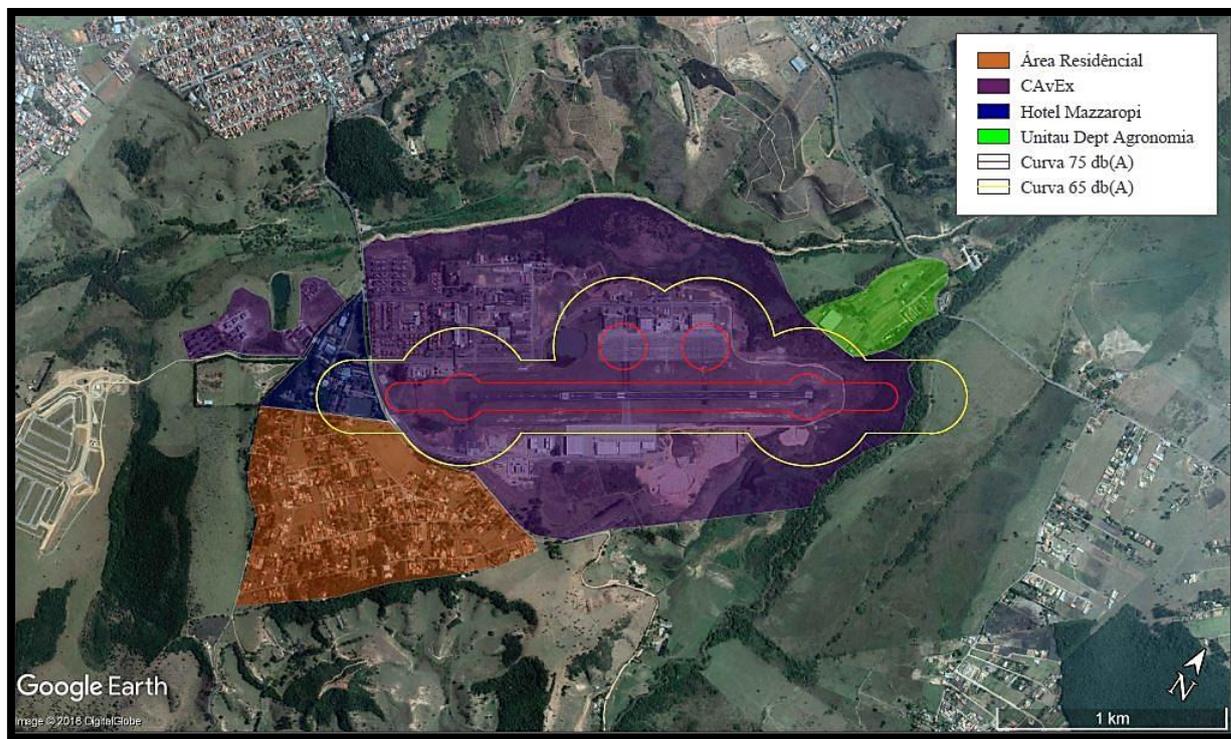
Figura 37. Uso do Solo



Fonte: Própria.

4.3 PLANO BÁSICO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO (PBZR).

Figura 38. Plano Básico de Zoneamento de Ruído.



Fonte: Própria.

4.4 ANÁLISE DE ÁREAS AFETADAS PELO RUÍDO.

Com as curvas com os níveis de ruído demarcadas, foi analisado quais áreas eram atingidas por quais níveis, a partir das permissões estipuladas pela lei foi feito o mapa abaixo marcando áreas de conflito, sujeitas a compatibilidade sob medidas de adaptações.

Figura 39. Áreas de conflito entre níveis de ruído e usos segundo RBAC 161.



Fonte: Própria.

4.5 ANÁLISE DO PLANO DIRETOR.

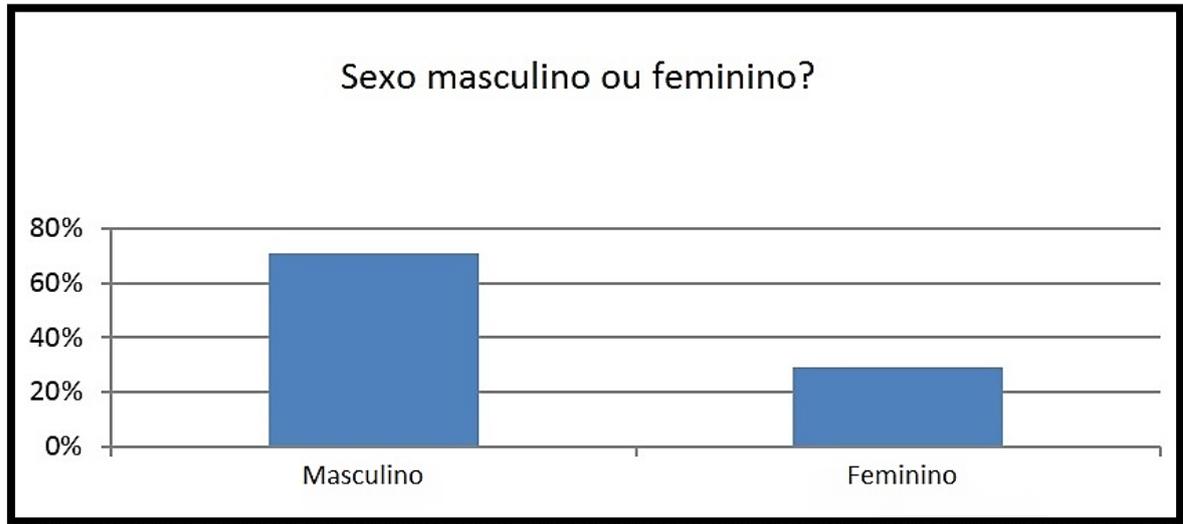
A partir da análise do plano diretor de Taubaté é visível a falta de regulamentos relacionados a propagação de ruído do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx) em seu entorno, pois o plano apresenta certas restrições de propagação de ruído apenas levando em conta quando o impacto é causado por um determinado uso no próprio bairro, mas não o impacto causado pelo CAvEx no bairro.

Além disso também é abordado a questão da aprovação de projetos sujeito permissão ou não, de acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), porém é levado em questão o gabarito das edificações e como isso afeta o CAvEx, devido à altura de pouso de decolagem das aeronaves, e não a situação impactante inversa relacionado a propagação de ruídos.

4.6 PESQUISA DE CAMPO.

4.6.1 Gráficos de qualificações.

Figura 40. Gráfico de qualificação 1



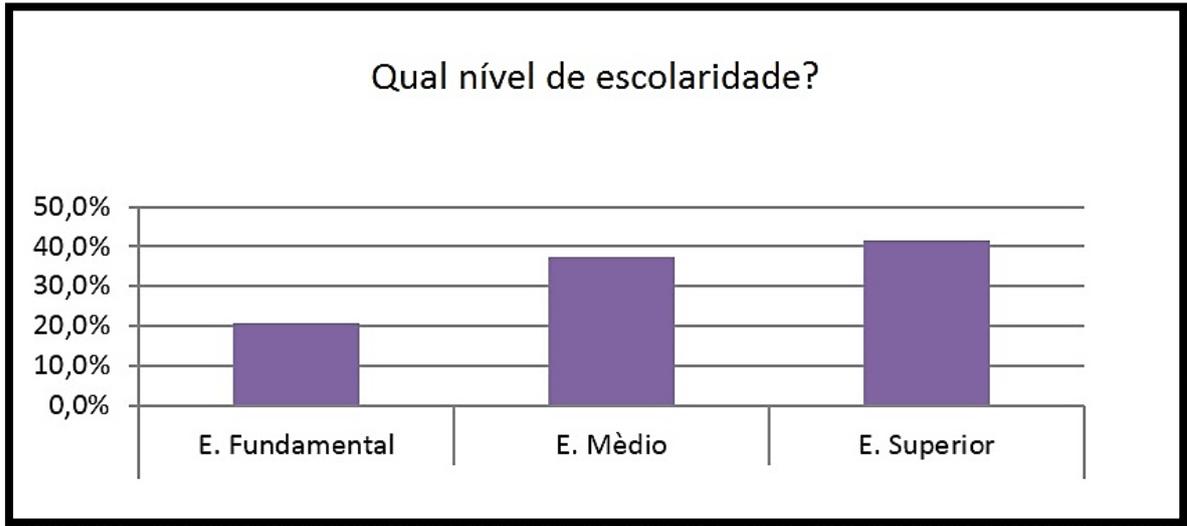
Fonte: Própria.

Figura 41. Gráfico de qualificação 2.



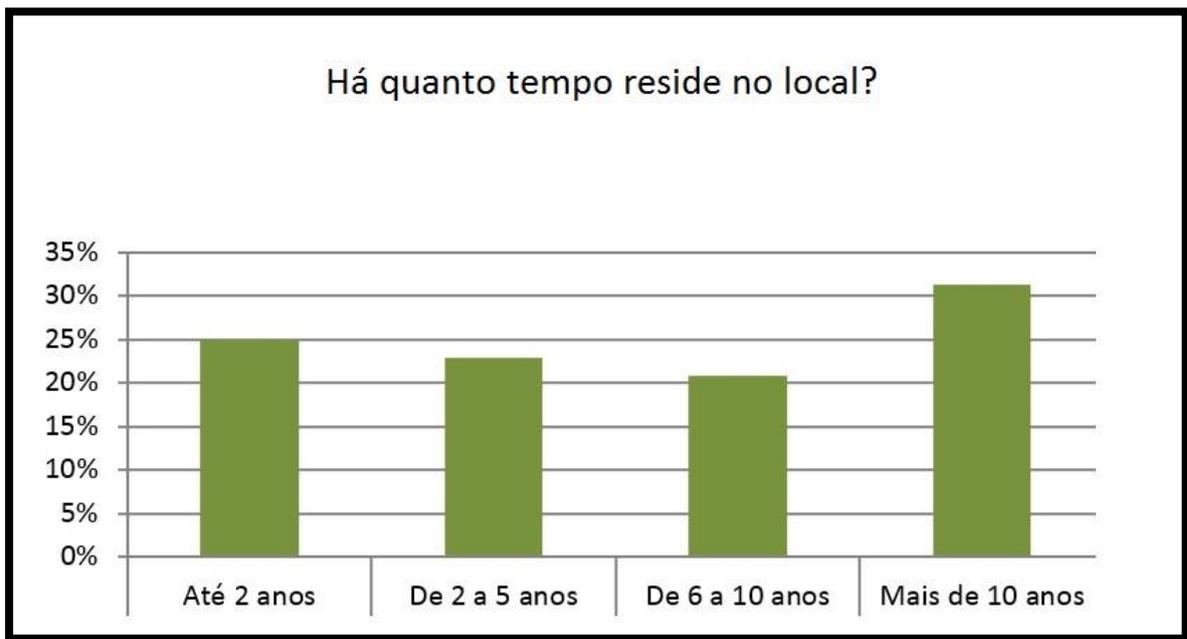
Fonte: Própria.

Figura 42. Gráfico de qualificação 3.



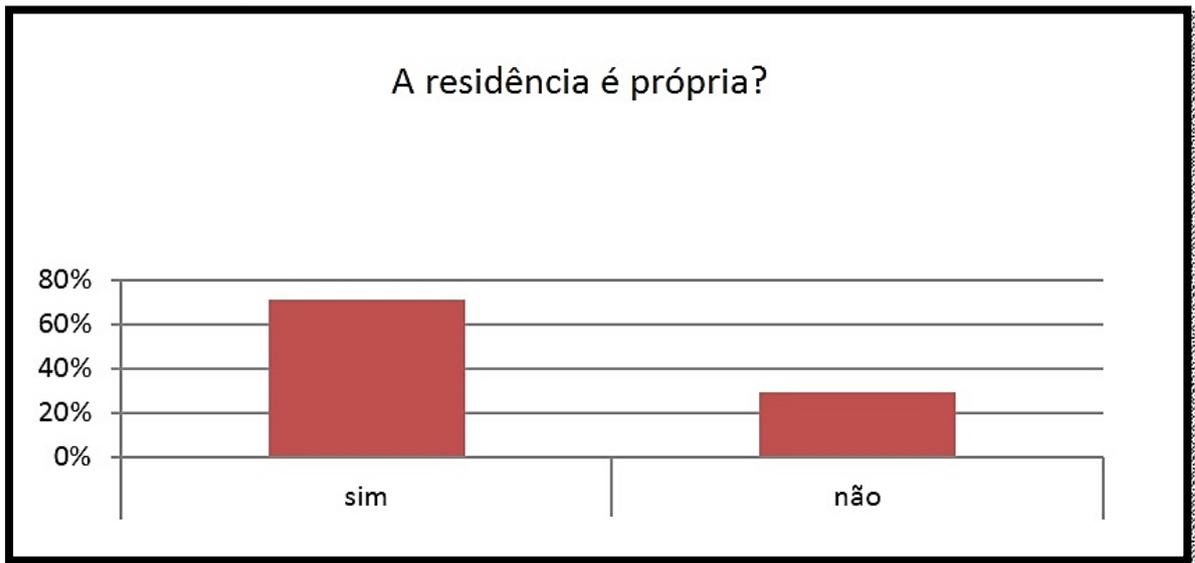
Fonte: Própria.

Figura 43. Gráfico de qualificação 4.



Fonte: Própria.

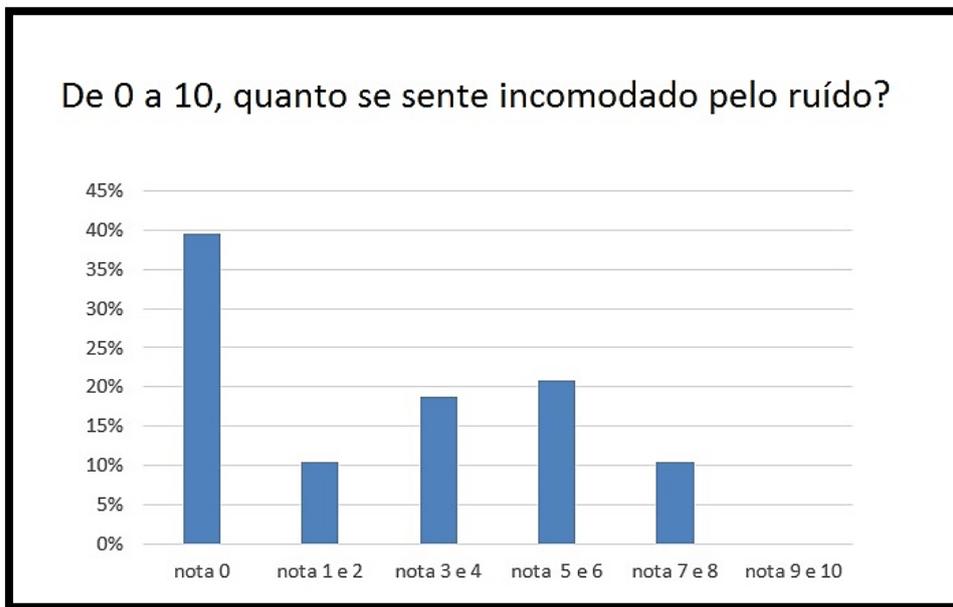
Figura 44. Gráfico de qualificação 5.



Fonte: Própria.

4.6.2 Gráficos de avaliações.

Figura 45. Gráfico de avaliação 1.



Fonte: Própria.

Para elaboração do gráfico da figura 22 foi considerado nota 0 como pessoas que não se sentem incomodados e nota de 1 a 10 pessoas que se sentem incomodados.

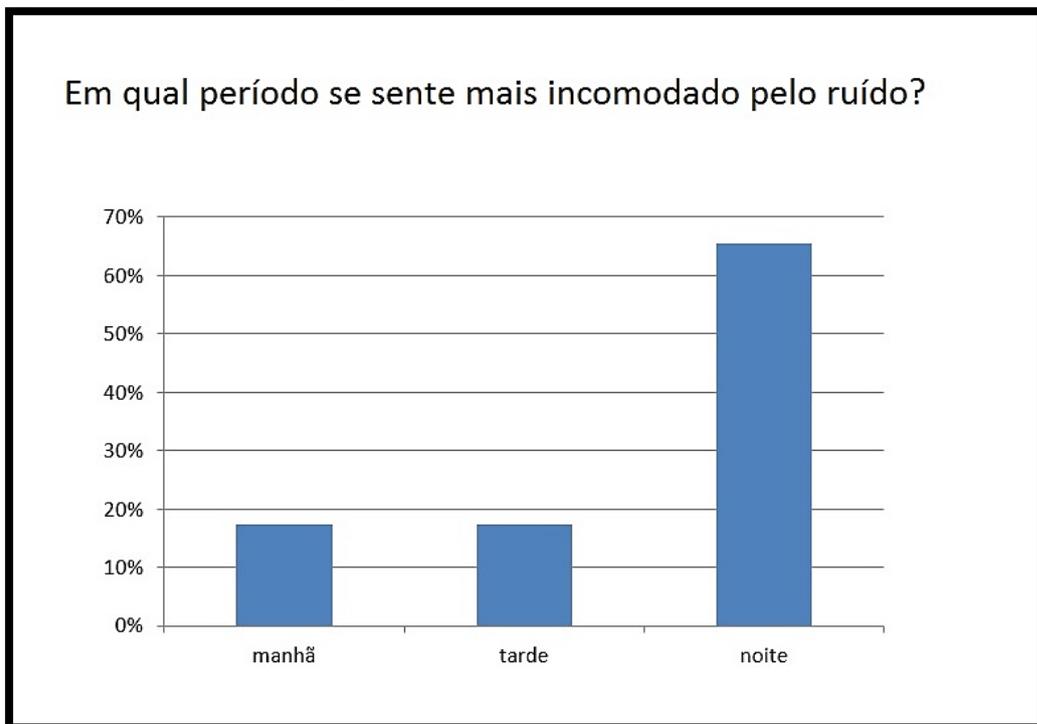
Figura 46. Gráfico de avaliação 2.



Fonte: Própria.

4.6.3 Gráficos de análises específicas.

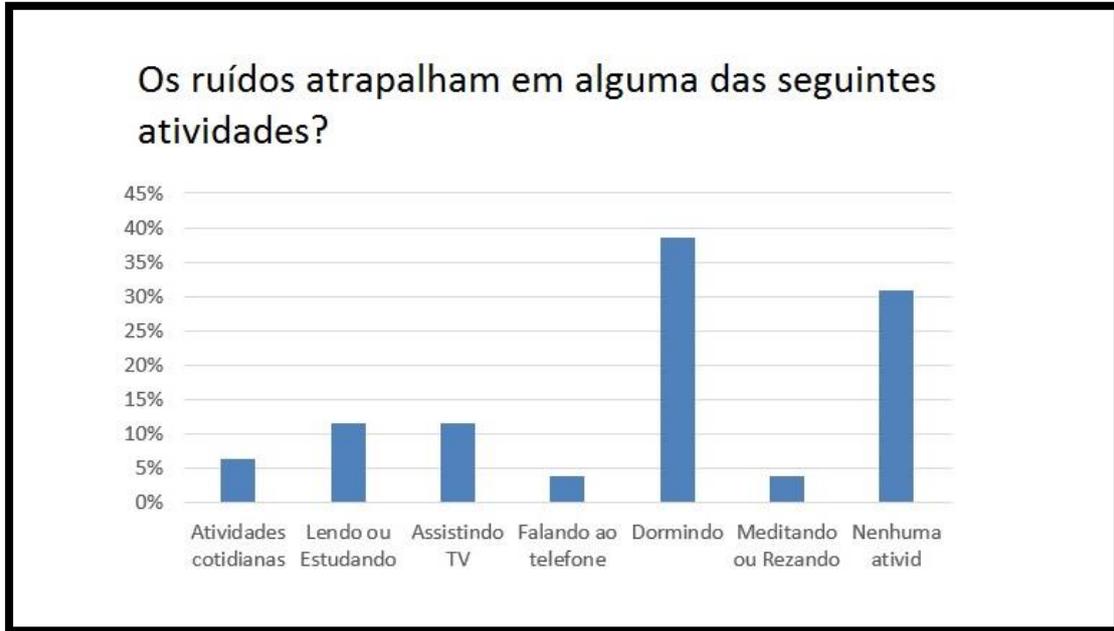
Figura 47. Gráfico de análise específica 1



Fonte: Própria.

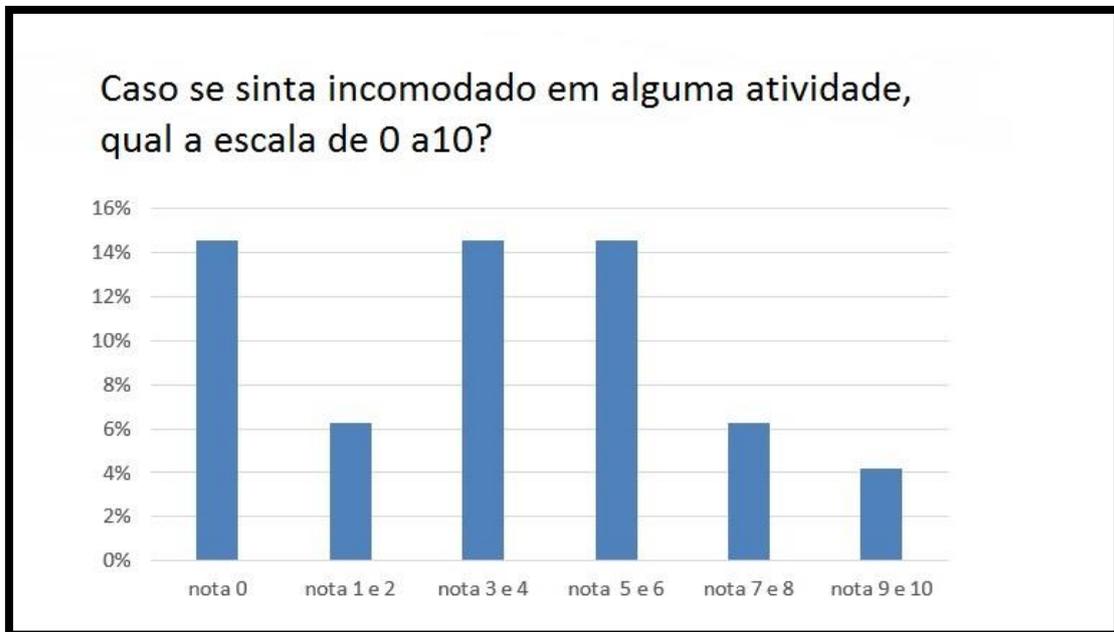
Na Figura 23 a opção “nenhuma atividade” representa os entrevistados que se sentem incomodados, porém não se sentem prejudicados em alguma das atividades.

Figura 48. Gráfico de análise específica 2.



Fonte: Própria.

Figura 49. Gráfico de análise específica 3.



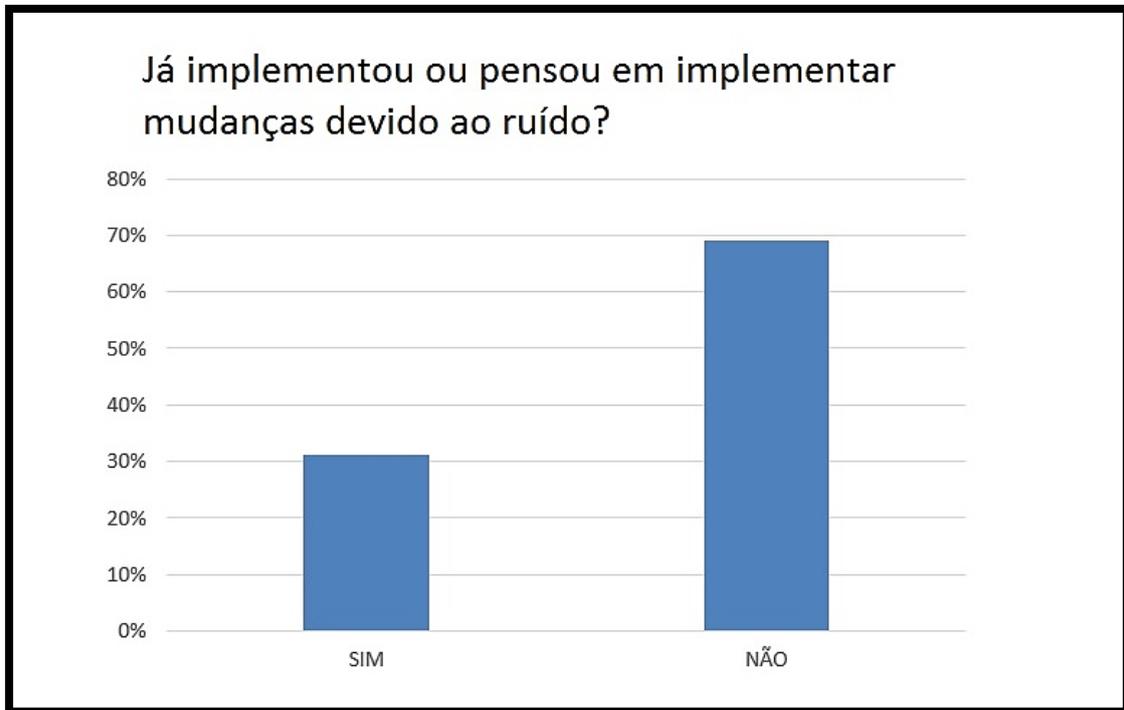
Fonte: Própria.

Figura 50. Gráfico de análise específica 4.



Fonte: Própria.

Figura 51. Gráfico de análise específica 5.



Fonte: Própria.

Figura 52. Gráfico de análise específica 6



Fonte: Própria.

Figura 53. Gráfico de análise específica 7.



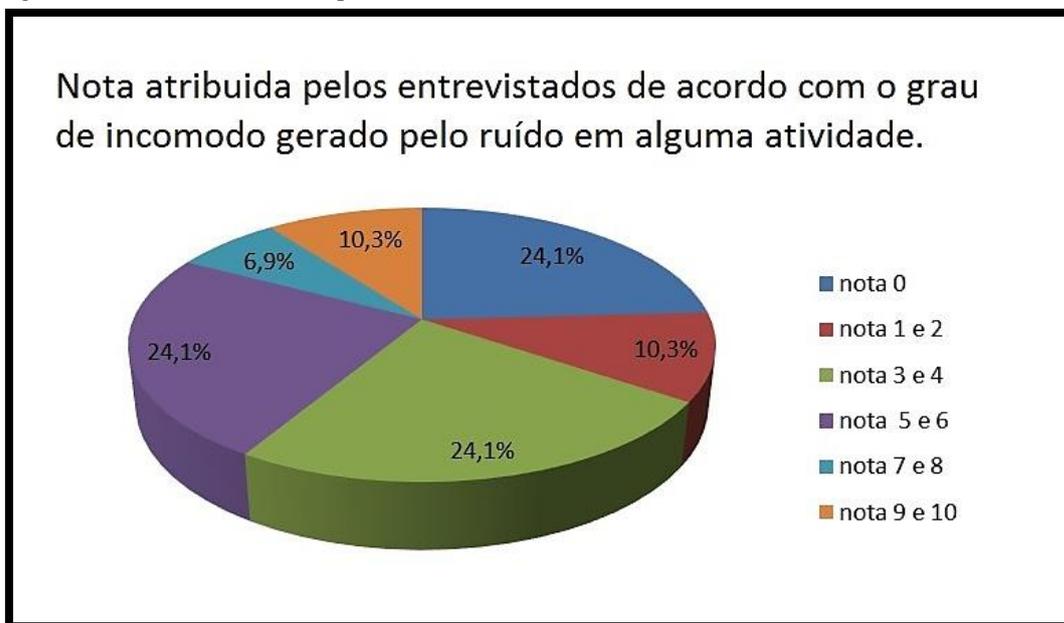
Fonte: Própria.

Figura 54. Gráfico de análise específica 8.



Fonte: Própria.

Figura 55. Gráfico de análise específica 9.



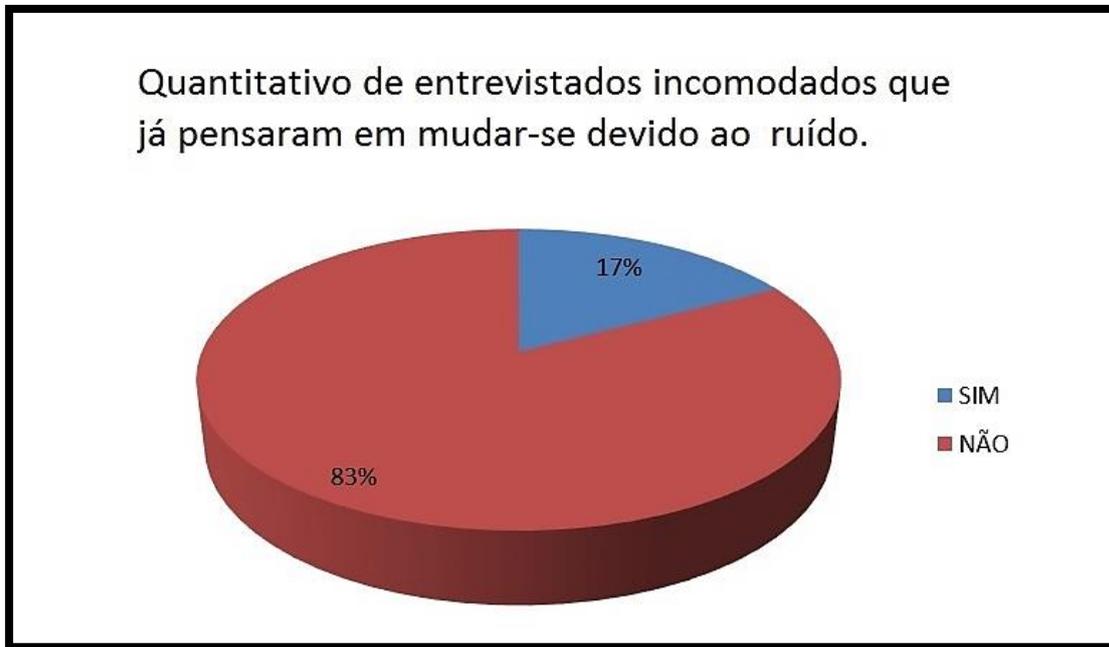
Fonte: Própria.

Figura 56. Gráfico de análise específica 10.



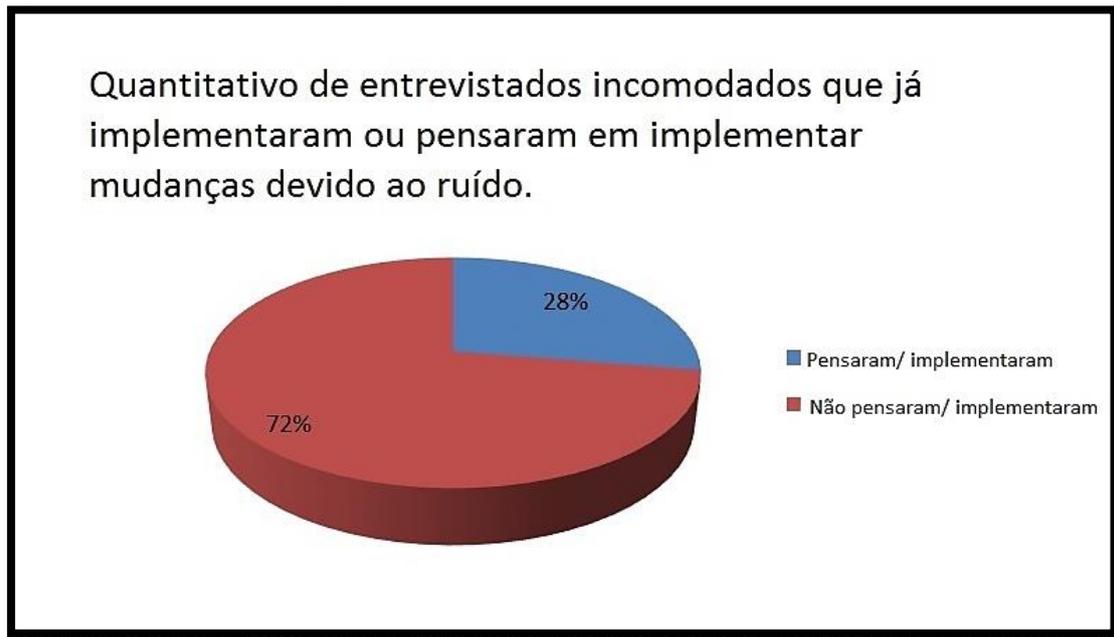
Fonte: Própria.

Figura 57. Gráfico de análise específica 11.



Fonte: Própria.

Figura 58. Gráfico de análise específica 12.



Fonte: Própria.

4.7 SOLUÇÕES PARA ATENUAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS NECESSÁRIAS.

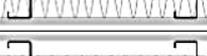
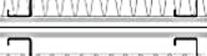
Certas áreas como foi analisado anteriormente, se vê necessário implementação de medidas para que haja a redução de ruído interno na edificação.

Para isso será apresentado neste capítulo algumas soluções de montagem, materiais, revestimentos e esquadrias, juntamente também será apresentado o índice de isolamento sonoro de cada respectivo a cada item.

4.7.1 Soluções Para Montagem.

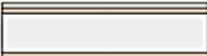
As tabelas a seguir apresentam soluções de montagem para as paredes com seus respectivos níveis de isolamento sonoro.

Tabela 12. Materiais com índice de isolamento sonoro.

Sistema SVVIE		R _w (dB)
1	 Blocos de concreto (9,5x19x39) revestidos com gesso de 0,5 cm de espessura, em ambas as faces.	40
2	 Blocos de concreto (11x19x39) revestidos com gesso de 0,5 cm de espessura, em ambas as faces.	44
3	 Blocos de concreto (14x19x39) revestidos com gesso de 0,5 cm de espessura, em ambas as faces.	44
4	 Blocos de concreto (19x19x39) revestidos com gesso de 0,5 cm de espessura, em ambas as faces.	47
5	 Blocos de concreto com revestimento argamassado, de 25mm e 30mm de espessura nas faces interna e externa, respectivamente.	46
6	 Steel frame (30x90 mm) com mantas compostas por lâ de PET soft therm de 0,35 kg/m ² e 50 mm, com fechamento composto por placas de gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	39
7	 Steel frame (30x90 mm) com mantas compostas por lâ de PET soft therm de 1,50 kg/m ² e 50 mm, com fechamento composto por placas de gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	41
8	 Steel frame (30x90 mm) com mantas compostas por lâ de PET soft therm de 1,00 kg/m ² e 100 mm, com fechamento composto por placas de gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	41
9	 Steel frame (50x85 mm) com lâ de vidro de 50 mm de espessura, com fechamento composto por placas de OSB (11,1 mm) e placa de gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	48
10	 Steel frame (30x90 mm) com mantas compostas por lâ de PET soft therm de 1,00 kg/m ² e 100 mm, com fechamento composto por placas OSB (11,1mm) e placas de gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	52

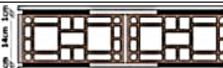
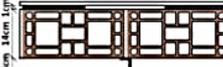
Fonte: Aula: isolamento sonoro, s/d.

Tabela 13. Materiais com índice de isolamento sonoro.

11	 Painéis de EPS (densidade de 17kg/m ³ e espessura de 7,0 cm) revestidos com OBS (9,5 mm) e gesso acartonado standard (12,5 mm), em ambas as faces.	35
12	 Painéis de EPS (densidade de 17kg/m ³ e espessura de 7,0 cm) revestidos com argamassa projetada armada (traço 1:4 e espessura de 3,3 cm)	38
13	 Blocos cerâmicos de 7 MPa (14x19x29) com resistência à compressão de 7 MPa e sem revestimento.	38
14	 Blocos cerâmicos de 7 MPa (14x19x29) com resistência à compressão de 7 MPa revestidos externamente com argamassa industrializada estabilizada com 2 cm de espessura e interno de 1 cm.	41
15	 Blocos cerâmicos de 7 MPa (14x19x29) com revestimento em gesso em uma face, e na outra face placas de gesso acartonado ST (12,5 mm) fixadas em perfis metálicos com 15 mm de espessura, preenchido com manta de lâ de vidro de 2 cm	50
16	 Blocos cerâmicos assentados com revestimento argamassado, de 25mm e 30mm de espessura nas faces interna e externa, respectivamente.	42
17	 Blocos cerâmicos estruturais de 10MPa (14x19x29), revestimento argamassado em ambas as faces de chapisco e reboco de argamassa industrializada estabilizada de 3,0 cm de espessura, em ambas as faces	50
18	 Blocos cerâmicos estruturais de 7MPa (14x19x29), revestimento argamassado de chapisco e reboco de argamassa industrializada para reboco grosso de 3,0 cm de espessura, em ambas as faces	45
19	 Blocos cerâmicos estruturais de 7 MPa (19x19x29), com revestimento argamassado de chapisco e reboco de argamassa industrializada para reboco grosso de 3,0 cm de espessura, em ambas as faces.	45
20	 Blocos cerâmicos estruturais de 16 MPa (14x19x29), sem revestimento.	39

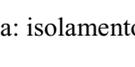
Fonte: Aula: isolamento sonoro, s/d.

Tabela 14. Materiais com índice de isolamento sonoro.

21		Blocos cerâmicos estruturais de 18 MPa (14x19x29), com revestimento argamassado de chapisco e reboco de argamassa industrializada para reboco grosso de 3 cm de espessura, em ambas as faces	51
22		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento colado em gesso acartonado ST BR (12,5 mm), em ambas as faces	41
23		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento em placas de gesso acartonado ST BR (12,5 mm), colado em uma face e estruturado na outra face	44
24		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento em placas de gesso acartonado ST BR (12,5 mm) colado em uma face e estruturado na outra face com preenchimento de lã de vidro de 2 cm.	50
25		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento em placas de gesso acartonado alta densidade superficial (12,5 mm) colado em uma face e placas de gesso acartonado ST BR (12,5 mm) estruturado na outra face preenchimento de lã de vidro de 2 cm.	51
26		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento em placas de gesso acartonado alta densidade superficial (12,5 mm) colado em uma face e estruturado na outra face preenchimento de lã de vidro de 2 cm.	52
27		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento em placas de gesso acartonado alta densidade superficial (12,5 mm) colado em uma das faces e estruturado na outra face	46
28		Blocos cerâmicos (14x19x29 mm) com revestimento colado em gesso acartonado alta densidade superficial (12,5 mm), em ambas as faces	43
29		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento estruturado em placas de gesso acartonado ST BR (12,5 mm), em ambas as faces	44

Fonte: Aula: isolamento sonoro, s/d.

Tabela 15. Materiais com índice de isolamento sonoro.

30		Blocos cerâmicos (14x19x29) com revestimento estruturado em placas de gesso acartonado alta densidade superficial (12,5 mm), em ambas as faces	46
Esquadrias			ΔR_w (dB)
31		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis e contramarco em alumínio e fechamento em vidro monolítico duplo de 4mm – câmara de ar de 9 mm – vidro claro 4 mm. Dimensão de 1,20x1,20 m.	19
32		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis e contramarco em alumínio e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,20x1,20 m.	20
33		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis e contramarco em alumínio preenchidos com PU e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,40x1,30 m.	26
34		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis e contramarco em alumínio preenchidos com PU e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,40x1,30 m.	27
35		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis, contramarco e persiana em alumínio preenchidos com PU e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,40x1,30 m.	31
36		Esquadria com duas folhas móveis de correr, perfis e contramarco em alumínio e persiana de alumínio anodizado com PU interno e fechamento das folhas foi de vidros incolores simples de 3 mm. Dimensões de 1,20x1,20 m.	27
37		Esquadria maxim-ar com bandeira fixa, perfis e contramarco em alumínio preenchidos com PU e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,40x1,30 m.	32
38		Esquadria porta-janela, perfis e contramarco em alumínio preenchidos com PU e fechamento em vidro monolítico claro de 4 mm. Dimensão de 1,80x2,17 m.	27
39		Porta com caixilho e marco em alumínio, com fechamento dupla face de vidros incolores 4 mm temperados e dispositivo inferior de vedação (veda porta). Dimensão de 0,9x2,10m.	19
40		Porta com caixilho e marco em alumínio, com fechamento dupla face de vidros incolores 4 mm temperados preenchidos com lã de rocha de espessura de 51 mm e densidade de 32 kg/m³ e dispositivo inferior de vedação (veda porta). Dimensão de 0,9x2,10m.	20

Fonte: Aula: isolamento sonoro, s/d.

Tabela 16. Materiais com índice de isolamento sonoro.

Material / Sistema	125	250	500	1000	2000	4000	Rw
Parede de tijolo de 11 cm de espessura, com junta de argamassa horizontal e vertical totalmente preenchida e com cerca de 2cm de reboco por face	32	31	39	46	50	53	43
Parede de tijolo de 15 cm de espessura, com junta de argamassa horizontal e vertical totalmente preenchida e com cerca de 2cm de reboco por face	30	33	40	47	52	55	45
Parede dupla de tijolo de 11 + 11 cm de espessura, com caixa de ar de 4cm preenchida com 4cm de lã de rocha de 70kg/m ³ , com juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior	41	41	44	54	66	78	51
Parede dupla de tijolo de 15 + 11 cm de espessura, com caixa de ar de 4cm preenchida com 4cm de lã de rocha de 70kg/m ³ , com juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior	41	42	47	57	69	81	53
Parede dupla de tijolo de 15 + 15 cm de espessura, com caixa de ar de 4cm preenchida com 4cm de lã de rocha de 70kg/m ³ , com juntas totalmente preenchidas e com cerca de 2cm de reboco por face exterior	42	42	52	65	79	90	56
Laje maciça de betão armado com 15 cm de espessura + camada de regularização	37	44	52	58	66	72	55
Laje maciça de betão armado com 20 cm de espessura + camada de regularização	41	49	57	63	71	78	60

Fonte: Monografia - Acústica de Edifícios e Controle de Ruído, 2008.

4.7.2 Definição Dos Materiais De Acordo Com Nível Sonoro.

Conforme visto anteriormente no método, a tabela 11 apresenta quais usos são permitido sob quais circunstâncias conforme RBAC 161. Portanto em áreas com nível sonoro de 65 dB ou inferior é permitido o uso residencial e comercial, dentro da região entre as curvas de 75 dB e 65 dB o uso residencial pode ocorrer sempre que os órgãos permitirem, porém deve ser adotado medidas para atingir redução de ruído interno a edificação de pelo menos 25 dB, já o uso comercial geralmente são compatíveis adotando também redução de ruído de 25dB. Nos casos que o nível sonoro excede 75 dB, tanto o uso residencial como comercial não é permitido em nenhuma hipótese.

Sendo assim, observando a coluna com o nível de isolamento sonoro (R_w) com os respectivos níveis de cada item, nota-se que todas opções de alvenarias apresentadas se enquadram para isolamento sonoro de 25 dB.

Para o as esquadrias, dos modelos apresentados acima se enquadram da opção 33 ao 38.

No caso das lajes, os dois tipos de laje se enquadram dentro do nível de isolamento sonoro necessário.

4.7.3 Forros e Esquadrias Anti Ruído.

Para exemplificar melhor será apresentado a seguir algumas imagens de modelos de portas, janelas e forro anti ruído, cada um possui uma forma de instalação e sua própria ficha técnica, contendo informações relacionadas ao nível de isolamento e absorção acústica entre outros, sendo necessário verificar diretamente com o fabricante.

Figura 59. Janela anti ruído marca Inovatta, linha harmonia.



Fonte: Site – Inovatta, 2018.

Figura 60. Detalhe de janela anti ruído marca Inovatta, linha harmonia.



Fonte: Site – Inovatta, 2018.

Figura 61. Porta anti ruído.



Fonte: Site – Fagma, 2018.

Figura 62. Porta anti ruído.



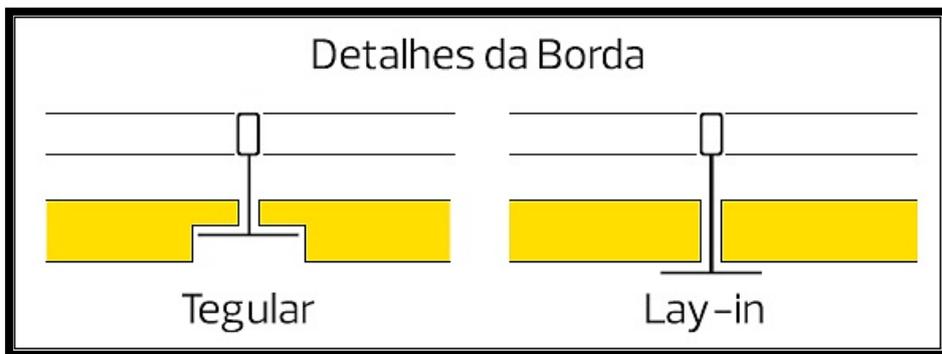
Fonte: Site – Acústica Som, 2018.

Figura 63. Forro anti ruído marca Isover, linha prisma decor.



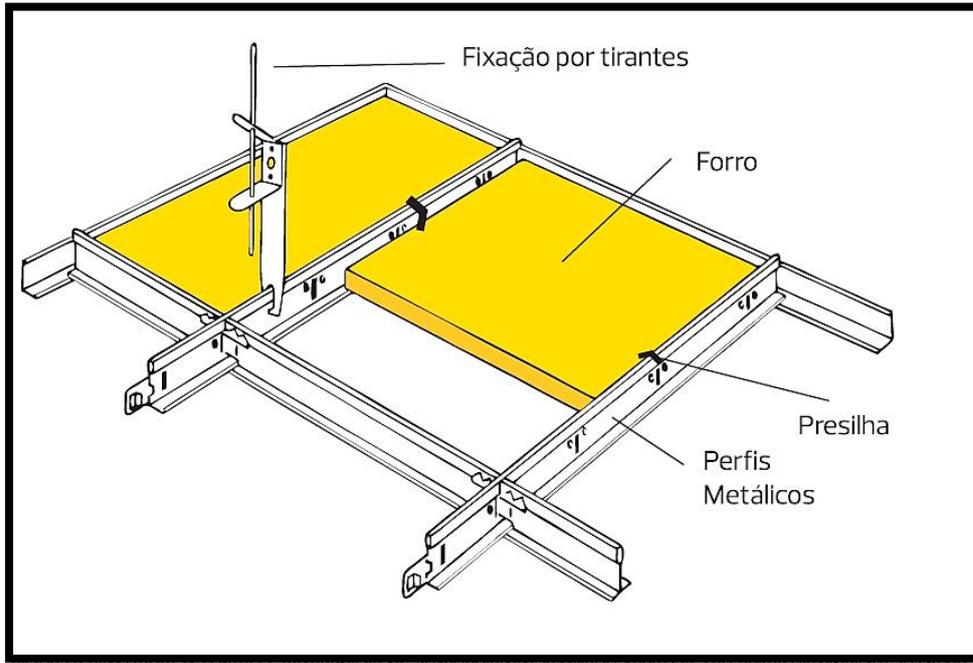
Fonte: Site – Isover, 2018.

Figura 64. Detalhe encaixe forro Isover.



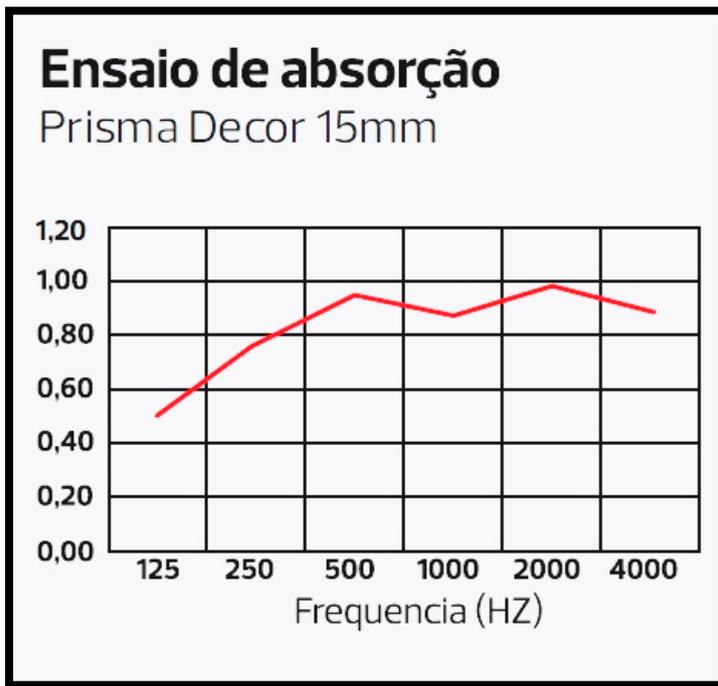
Fonte: Site – Isover, 2018.

Figura 65. Detalhe fixação forro Isover.



Fonte: Site – Isover, 2018.

Figura 66. Coeficiente de absorção acústica forro Prima Decor.



Fonte: Site – Isover, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A partir de toda problemática abordada no trabalho referente à poluição sonora, com foco ao ruído aeroportuário, no trabalho buscou-se analisar a paisagem sonora do Bairro Residencial Granjas Rurais Reunidas São Judas Tadeu no entorno do Comando de Aviação do Exército de Taubaté (CAvEx).

Com a elaboração do Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) conforme a lei da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) foi constatada áreas de conflito entre usos e níveis de ruídos, que conforme a mesma poderia ocorrer somente perante implementações de determinadas medidas, o que não ocorre no local. Juntamente a este conflito, a Lei do Plano Diretor de Taubaté de 2017 não prevê a situação presente e não define medidas reguladoras a fim de normatizar a situação no local.

Com base na metodologia de questionário usado na pesquisa de campo, reforça a possível situação levantada anteriormente, sendo predominante o número de entrevistados que se sentem incomodados com o ruído proveniente das movimentações das aeronaves no Bairro Granjas Rurais Reunidas São Judas Tadeu.

Ainda no resultado da pesquisa em campo, além das qualificações e avaliações dos entrevistados, nas análises específicas a partir dos gráficos, se afirma que os moradores do local conforme maior tempo de residência e à exposição ao ruído cotidiano tendem a criar determinada resistência a percepção do suposto incômodo causado pelo ruído.

Para confirmação dos níveis de ruído conforme elaborado pelo PBZR, pretendia-se fazer medições pontuais em determinados locais com o equipamento decibelímetro.

Por fim, a após todos dados obtidos e análises feitas, foi elaborado uma cartilha com algumas orientações para moradores do local que possuam interesse em fazer a redução do ruído interno em sua residência.

A partir da pesquisa relacionado ao tratamento acústico e empresas que fornecem este serviço, foi notável além do preço bastante elevado, as poucas opções de materiais, forros e portas anti ruído destinado à residências, com design dos materiais mais voltado à arquitetura comercial, o emprego destes materiais se torna mais presente em comércios, serviços e instituições, o que pressupõem apesar da crescente preocupação com a poluição sonora, a falta ainda de preocupação mais voltado para as questões diretas de atenuação do ruído das residências que necessitam no Brasil.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional De Aviação Civil - **Portaria N° 1.141/GM5/1987.**

Agência Nacional de Aviação Civil - **Política Nacional da Aviação Civil (PNAC) 2009 - Decreto nº 6.780.**

Agência Nacional De Aviação Civil. **RBAC - 161. Planos De Zoneamento De Ruído De Aeródromos – PZR.** Brasil, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT (1989) NBR 10.856: Determinação do Nível Efetivo de Ruído Percebido (EPNL) de Sobrevoos de Aeronaves.** Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT (1990) NBR 11.415: Ruído Aeronáutico.** Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT (1992) NBR 12.179: Tratamento acústico em recintos fechados.** Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT (1993) NBR 12.859: Avaliação do Impacto Sonoro Gerado por Operações Aeronáuticas.** Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT (1995) NBR 13.368: Ruído Gerado por Aeronaves - Monitoração.** Rio de Janeiro.

ALMEIDA, S. I. C. de et al. **História natural da perda auditiva ocupacional provocada por ruído.** Rev. Assoc. Med. Bras. [online]. 2000, vol.46, n.2, pp.143-158. ISSN 0104-4230.

ANAC BRASIL **Ministério da Aeronáutica. Portaria nº 1214/SIA de 12 de abril de 2018.** Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, Seção 1, pág.89.

BARBOSA, ANDRÉ LUIZ S., **Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo.** 2015. 346f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, 2015.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído.** São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2006.

BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira de. **A utilização de mapas acústicos como ferramenta de identificação do excesso de ruído em áreas urbanas.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2017, vol.22, n.6, pp.1095-1107. Epub 03-Ago-2017. ISSN 1413-4152.

BRASIL (2009) **Aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) e dá outras providências.** Decreto nº 6.780/2009.

CARVALHO JUNIOR, Edson Benício de et al. **Análise das principais métricas utilizadas no zoneamento acústico de áreas próximas a aeródromos.** J. Transp. Lit. [online]. 2013, vol.7, n.4, pp.175-198. ISSN 2238-1031.

CARVALHO, Edson Benício, **Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta**. 2015. 194f . Tese de Doutorado – Universidade de Brasília.

COELHO, J. L. B., VALADAS, B., GUEDES, M. **Ruído ambiente em Portugal**. Revista Acústica e Vibrações, 1996, n. 18, p. 17-32.

Comunidade Europeia, (2002) **Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Diretiva 2002/49/EC**.

DAGA, C.C.; PANTOJA, J.C.; LOBO. J.A.P.C; LOBO. H.N.C.C. **Análise Ambiental: Estudo De Caso Do Ruído De Tráfego No Entorno Do Estádio Nacional De Brasília - Mané Garrincha**. ANAIS SOBRAC 2017. p. 79 – 87, 2017. Disponível em: <https://www.dropbox.com/s/nw2omoctv3xag7q/ANAIS%20SOBRAC%202017_Completo_final.pdf?dl=0> Acesso em: 02 fev. 2018.

FERREIRA, José Augusto Coelho; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. **Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medição in situ e simulação computacional Ambiente construído**. Revista Ambiente Construído [online] , 2017, vol. 7, n. 2, p 15 – 29, Porto Alegre, 2007. ISSN 1678-8621.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Florianópolis: NR Editora, 2000.

INFRAERO, **Relatório Ambiental 2003/2004**. Disponível em: <<http://www4.infraero.gov.br/media/551630/20042006.pdf>> Acesso em: 24 de junho de 2018.

LACERDA, Adriana Bender Moreira de et al. **Ambiente urbano e percepção da poluição sonora**. Ambient. soc. [online]. 2005, vol.8, n.2, pp.85-98. ISSN 1414-753X.

MARQUES, Fernanda Vieira. **Aula: isolamento sonoro - Especialização em Desempenho das Edificações Habitacionais**. Disponível em: <https://moodle.pucgoias.edu.br/pluginfile.php/139102/mod_resource/content/1/AULA%20%20-%20ISOLAMENTO%20AC%20C3%9ASTICO.pdf> Acesso em: 14 dezembro, 2018.

MARQUES, José Roberto. **Os danos causados ao meio ambiente por poluição sonora, eletromagnética, visual e luminosa: reparação, sanções penais e Administrativas**. Revista jurídica do Ministério Público do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, v.14, n.25, p.217-296, jul./dez., 2015. ISSN 1809-8487.

MESTRE, Vincent E.; WOOTEN, David C. Chapter 4: Noise impact analysis. In: RAU, John G.; WOOTEN, David C. **Environmental impact analysis handbook**. USA: McGraw-Hill, 1980.

MORAIS, Ludmila Rodrigues, **Estudo De Barreiras Acústicas No Controle Do Ruído Aeroportuário**. 2008. 340f . Tese de Doutorado – Universidade Federal Do Rio De Janeiro, 2008.

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** . 2005. 138f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

NUNES, Maria F.D.O. Poluição Sonora Em Centros Urbanos: **O Ruído De Tráfego Veicular. Rio Grande do Sul**, 02 maio. 2018. Disponível em: < [http://www.abepro.org.br/ biblioteca /ENEGEP1999_A0068.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0068.PDF) > Acesso em: 02 maio. 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Ranking Poluição**. Brasil: 2003.

PÉREZ, J. M.; GÓMEZ, J. F. **Análisis de algunas variables que influyen en el ruido debido al tráfico urbano en una gran ciudad**. Disponível em: < [https://revistas.uax.es/index.php /tec_des/article/view/551](https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/551) > Acesso em: 25 maio, 2018.

RAMOS, Thiago da Cunha. **Avaliação da exposição de ciclistas ao ruído em uma cidade média brasileira**. 2017. 181f . Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (1990) **Dispõe sobre a Emissão de Ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, determinando padrões, critérios e diretrizes**. Resolução CONAMA n. 1/90.

ROSA, Diogo Manuel Mateus. **Acústica De Edifícios E Controle De Ruído**. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/ARE/Apontamentosdadisciplina.pdf>> Acesso em: 14 dezembro, 2018.

SILVA, Prof. Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de AR**. 6ª ed. Belo Horizonte: Empresa Termo Acústica LTDA, 2011.

SOUSA, Denise da Silva. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a sustentabilidade das cidades Brasileiras**. 2004. 616f. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VALIM, F. C. **Análise das Diferentes Formas de Atenuação do Ruído Aeronáutico**. 2006. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta et al. **Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR**. Rev. Saúde Pública [online]. 2002, vol.36, n.4, pp.521-524. ISSN 0034-8910.