

ESTUDO DO IMPACTO AMBIENTAL SONORO DA AVIAÇÃO REGULAR EM
GRANDES AEROPORTOS COM ÊNFASE NO AEROPORTO INTERNACIONAL
TOM JOBIM - GALEÃO

Thaísa Loureiro Pixinine

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

Prof. Jules Ghislain Slama - Orientador

Prof. Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto

Prof. Fernando Pereira Duda

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso primeiramente a Deus, porque me deu tudo que conquistei até hoje em minha vida pela sua misericórdia.

Dedico também a minha mãe por sempre estar ao meu lado independente das circunstâncias, me apoiando, vivendo os meus sonhos junto comigo, minha melhor amiga.

Ao meu Pai porque independente da distância sempre esteve tão presente, disponível e perto para dar suporte e atenção a qualquer coisa que eu pudesse precisar.

A minha Avó e meu Avô que devo e agradeço por todo o amor, carinho, tempo e dedicação que tiveram comigo por todos esses anos de minha vida, abrindo mão das próprias vidas pelo meu melhor.

Ao meu Tio Jorge pela presença, companheirismo e alegria com que sempre esteve comigo, me ajudando em tudo quanto podia.

Ao meu namorado André por toda atenção, auxílio, amizade e compreensão dados em todos esses anos que estamos juntos.

*“Muitos são os planos no coração do
homem, mas o que prevalece é o propósito
do Senhor.”
(Provérbios, 19:21)*

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a Deus por todas as conquistas e desafios vencidos e por todos os que ainda virão.

Agradeço ao Professor Jules Slama, por me orientar com muita competência, dedicação e atenção ao longo desses meses e por ter me ajudado a escolher um tema de projeto tão interessante e atual para minha defesa.

Agradeço também a todos os professores que passaram comigo por toda esta jornada, me orientando e direcionando pelo melhor caminho.

Aos colegas de faculdade que ao longo desses anos me ajudaram em trabalhos, provas e estudos. Sem estas ajudadas teria sido bem mais difícil.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Natureza do Som	3
2.2. Características do Som – Onda Sonora.....	3
2.2.1. Frequência(f) e Comprimento de Onda (λ).....	4
2.2.2. Velocidade.....	4
2.2.3. Intensidade, Pressão e Potência Sonora	5
2.3. Propagação.....	6
2.3.1. Reflexão especular.....	6
2.3.2. Absorção e Refração	6
2.3.3. Difração	7
2.3.4. Interferência de ondas	7
3. RELAÇÃO ENTRE HOMEM E SOM.....	9
3.1. Percepção humana do som	9
3.1.1. Recepção do som pelo ouvido.....	9
3.2. Som X Ruído.....	11
3.3. Conforto Acústico.....	12
3.4. Os efeitos do ruído Aeroportuário no homem	14
4. RUIDOS AEROPORTUÁRIOS	17
4.1. O Ruído Aeroportuário	17
4.2. Componentes Geradores de Ruído	17
4.2.1. Ruído Aerodinâmico	17
4.2.2. Ruído de Propulsão	18
4.3. Curvas de Ruído das Aeronaves	21
4.4. Classificação das aeronaves quanto ao ruído emitido.....	23
5. MÉTRICAS DE RUIDOS MAIS UTILIZADAS	25
5.1. Níveis de Pressão Sonora Equivalente.....	25
5.1.1. L_{AeqD}	25
5.1.2. L_{AeqN}	25
5.1.3. $L_{Aeq,1h}$	26
5.2. <i>Day - Night Level (DNL)</i>	26
6. NORMAS E LEGISLAÇÃO.....	27

6.1.	Norma NBR 10151- “Acústica -Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”	27
6.2.	Norma NBR 10152- “Níveis de ruído para conforto acústico”	28
6.3.	Norma NBR 13.368 – “Ruído gerado por aeronaves – Monitoração”	29
6.4.	Abordagem Equilibrada	30
7.	ZONEAMENTO AEROPORTUÁRIO	32
7.1.	Plano de Zoneamento Aeroportuário - (PZR)	32
7.2.	Plano Básico de Zoneamento de Ruído – (PBZR)	32
7.3.	Plano Específico de Zoneamento de Ruído – (PEZR).....	34
7.4.	Uso do Solo segundo a RBAC 161.....	34
8.	UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE INM PARA ANÁLISE DOS RUÍDOS	35
8.1.	Descrição Geral	35
8.2.	Dados de Entrada	35
8.3.	Parâmetros de Saída	36
8.3.1.	Cálculo.....	37
8.3.2.	Descrição das Operações e Aeronaves.....	37
9.	ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO DO RUÍDO PARA O AEROPORTO TOM JOBIM	38
9.1.	Histórico do Aeroporto Antônio Carlos Jobim	38
9.2.	Informações Técnicas do Aeroporto.....	40
9.3.	Simulação de Ruído no Entorno do Aeroporto	42
9.3.1.	Utilização Atual – 1ºCaso.....	42
9.3.2.	Utilização Prevista – 2ºCaso: Extrapolando em 30%	44
10.	AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO EM PONTOS CRÍTICOS ESCOLHIDOS 47	
10.1.	Pontos de Análise.....	47
10.2.	Níveis de Ruídos nos Receptores Localizados – 1ºCaso	49
10.3.	Níveis de Ruídos nos Receptores Localizados – 2ºCaso: Extrapolando em 30% 50	
11.	ESTUDO DOS RECEPTORES CRÍTICOS	52
11.1.	Adequação do Receptor Crítico com relação ao Ruído Aeroportuário	52
11.1.1.	Correção de Ambiente Externo para Interno.....	52
11.1.2.	Horários de Pico	54
11.2.	Conformidade dos Receptores Críticos com relação ao uso.....	55
12.	CONCLUSÃO	61

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO I – Nível de Exposição Sonora e Nível Sonoro Equivalente	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CDA	<i>Continuous Descent Approach</i>
DNL	<i>Day Night Level</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
ICAO	<i>International Civil Administration Organization</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INM	<i>Integrated Noise Model</i>
LAeq	Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderado no Filtro A
LAeqD	Nível de Pressão Sonora Equivalente Diurno Ponderado no Filtro A
LAeqN	Nível de Pressão Sonora Equivalente Noturno Ponderado no Filtro A
NADP	<i>Noise Abbatment Departure Procedure</i>
NCA	Nível Critério de Avaliação
PBZR	Plano Básico de Zoneamento de Ruído
PEZR	Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PZR	Plano de Zoneamento de Ruído

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Movimentação de partículas com sua respectiva variação de pressão</i>	3
<i>Figura 2 – Unidades de medida de ondas</i>	4
<i>Figura 3 – Propagação da onda sonora ao encontrar um obstáculo – lembrando que o som absorvido é aquele que é dissipado em calor.</i>	6
<i>Figura 4 – Exemplos de transmissão de ondas por um obstáculo</i>	7
<i>Figura 5 – Esquema de difração da onda sonora</i>	7
<i>Figura 6 – Fonte, Caminho e Receptor</i>	9
<i>Figura 7 – Curvas de Audibilidade Humana</i>	10
<i>Figura 8 – Ruído Contínuo</i>	11
<i>Figura 9 – Ruído Flutuante</i>	11
<i>Figura 10 – Ruído Impulsivo</i>	12
<i>Figura 11 – Níveis Internos de Conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula</i>	13
<i>Figura 12 - Tabela da Norma NBR 10151, versão de 1987</i>	13
<i>Figura 13 – Danos à saúde causados por ruídos</i>	16
<i>Figura 14 – Principais fontes de ruído aerodinâmico de um avião</i>	18
<i>Figura 15 – Motor tipo Turbo Jato</i>	19
<i>Figura 16 – Motor do tipo Turbofan</i>	20
<i>Figura 17 – Footprints gerados por uma aterrissagem e uma decolagem de diversas aeronaves</i>	22
<i>Figura 18 – Gráfico representando o nível de ruído das aeronaves classificadas por capítulos versus massa máxima em toneladas na decolagem</i>	24
<i>Figura 19 – Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário de acordo com a RBAC nº161</i>	33
<i>Figura 20 -Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário para aeroporto com duas pistas</i>	33
<i>Figura 21 – Fluxo de entrada e saída de dados do INM</i>	35
<i>Figura 22 – Imagem aérea das pistas do SBGL</i>	41
<i>Figura 23 – Disposição das pistas</i>	41
<i>Figura 24-DNL-60-85 [dB]</i>	42

<i>Figura 25-LAeqD-55-75 [dB]</i>	<i>43</i>
<i>Figura 26-LAeqN-50-70 [dB]</i>	<i>43</i>
<i>Figura 27 –DNL 60 – 85 (130%)[dB]</i>	<i>44</i>
<i>Figura 28 – LAeqN-50-60 (130%)[dB]</i>	<i>45</i>
<i>Figura 29 – LAeqD-55-70 (130%)[dB]</i>	<i>45</i>
<i>Figura 30 – Localização dos Receptores Críticos</i>	<i>48</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Velocidades de propagação do som em vários meios</i>	5
<i>Tabela 2 - Frequência X Onda sonora</i>	10
<i>Tabela 3 - Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A).</i>	28
<i>Tabela 4 - Critério de Avaliação para ambientes internos, em dB (A).</i>	29
<i>Tabela 5 – Verificação da existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico em relação ao ruído de fundo</i>	30
<i>Tabela 6 – Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias</i>	30
<i>Tabela 7 – Valores das constantes utilizadas para o cálculo do PZR</i>	32
<i>Tabela 8 – Movimentação do aeroporto</i>	40
<i>Tabela 9 – Dimensionamento das pistas</i>	40
<i>Tabela 10 – Latitudes e longitudes dos receptores críticos</i>	48
<i>Tabela 11 – Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB</i>	50
<i>Tabela 12 - Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB (130%)</i>	51
<i>Tabela 13 - Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB corrigidos para ambiente interno de acordo com a NBR 10152</i>	54
<i>Tabela 14 - Níveis de ruídos diurnos que ultrapassam os valores estabelecidos na norma.</i>	56
<i>Tabela 15 – Níveis de ruídos noturno</i>	56
<i>Tabela 16- - Níveis de ruídos diurnos que ultrapassam os valores estabelecidos na norma.</i>	57
<i>Tabela 17 - Níveis de ruídos noturno</i>	58
<i>Tabela 18 - Níveis de ruídos diurnos</i>	59
<i>Tabela 19 - Níveis de ruídos noturno</i>	59

1. INTRODUÇÃO

O trabalho que será desenvolvido a seguir irá estudar o Impacto Sonoro Ambiental que a Aviação Regular vem causando em grandes aeroportos e em seus entornos. Estudaremos em específico o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, que está localizado na cidade do Rio de Janeiro.

A escolha deste aeroporto foi feita pelo fato dele estar situado na cidade com a maior visibilidade pelos próximos três anos, devido aos grandes eventos que ela receberá. A escolha também foi pautada pelo fato do GIG (Galeão – como também é conhecido) ser o segundo maior aeroporto em fluxo de passageiros e número de voos perdendo apenas para o Aeroporto de Guarulhos (SP), porém em tamanho de pista ele é o maior do Brasil.

O interesse dessas análises cresce ainda mais pelo fato de que obras de expansão dos Terminais vêm sendo feitas para possibilitar ainda mais voos e passageiros para a cidade e também para suportar parte da demanda que será enviada do Aeroporto Santos Dumont. Com o objetivo que estas obras não sejam apenas para beneficiar poucos e de fato sirvam como um avanço para a cidade se fez necessário analisar os impactos que hoje com um menor fluxo já vem causando transtornos no entorno do aeroporto.

Como base dos dados neste trabalho, faremos uso da HOTRAN que é um documento aprovado e emitido pela ANAC que formaliza as concessões para a exploração de linhas aéreas regulares internacionais e domésticas de passageiros e/ou carga com os respectivos horários, números de voos, frequências, tipos de aeronaves entre outros dados.

Já para a análise numérica e gráfica será utilizado o Software INM versão 7.0b, onde serão dispostos os dados e obtidas as curvas de Ruído do Aeroporto e os níveis sonoros em receptores situados no seu entorno.

Nosso foco maior de interesse irá girar em torno do desconforto acústico causado em escolas nas regiões afetadas pelo ruído produzido pelos pousos e decolagens das aeronaves. A análise do impacto será realizada de acordo com a legislação e normas de poluição sonora, vigentes.

Em geral, podemos considerar três tipos de movimentos em um aeroporto: movimentos da aviação regular (correspondentes a pouso e decolagem de aeronaves com horários predefinidos), aviação geral e aviação militar. Em muitos aeroportos, a

aviação regular é predominante e o impacto sonoro pode ser atribuído a ela. A vantagem da aviação regular é que todos os dados de movimentos são disponibilizados na tabela HOTRAN. No caso do Galeão é exatamente isso que ocorre a maioria dos voos são de aviação regular.

Por fim, iremos estudar três casos de receptores localizados na região do entorno do aeroporto, obtendo para eles resultados numéricos para compararmos com as normas vigentes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Natureza do Som

O Som Físico é uma perturbação produzida pelas vibrações de um corpo, ou o escoamento de um fluido, que se propaga num meio elástico (sólido, gasoso ou líquido) através de pequenas flutuações de pressão, densidade e temperatura.

Quando uma onda atravessa esse meio, o movimento das suas partículas está associado a uma variação de pressão. Esta variação de pressão será um som, se for capaz de criar uma sensação auditiva.

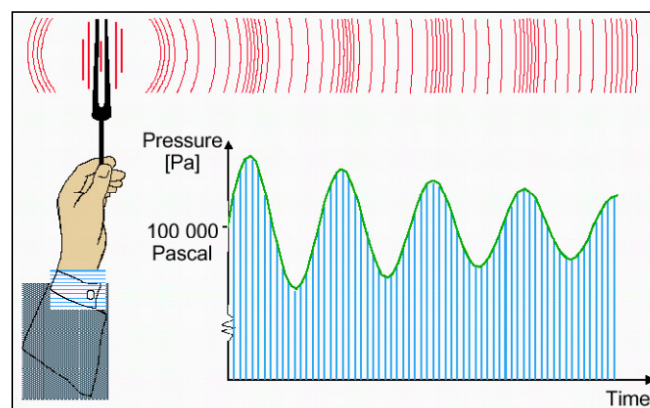


Figura 1 – Movimentação de partículas com sua respectiva variação de pressão

$$P(t) = P_{ATM} + P(t)$$

Onde:

P_{ATM} : é a pressão atmosférica

$P(t)$: é a pressão total em Pascais (Pa)

$P(t)$: é a pressão sonora em Pascais (Pa)

2.2. Características do Som – Onda Sonora

As ondas sonoras no ar são ondas longitudinais, ou seja, são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação. Quanto à natureza dessas ondas sua classificação se dá como ondas mecânicas, que são aquelas que precisam de um meio material para se propagarem. E, além disso, elas são classificadas também como ondas tridimensionais, pois se propagam em todas as direções.

2.2.1. Frequência(f) e Comprimento de Onda (λ)

A Frequência de uma onda sonora senoidal é determinada pela contagem do número de frentes de onda que passam por certo ponto em um determinado tempo, medida em Hertz ou c/s (ciclo por segundo), também considerada como o inverso do período (T).

Uma onda sonora senoidal é caracterizada pela sua frequência (f) e pelo seu comprimento de onda (λ), que é a distância que o som percorre durante um ciclo completo, podendo ser medido pela distância entre dois máximos sucessivos na onda. A relação entre f, λ é a velocidade do som (v):

$$V = \lambda \times f \quad [\text{m/s}]$$

Som grave é o som de frequência baixa e som agudo é o som de frequência alta.

Existe uma relação inversa do comprimento de onda com a frequência. Quanto menor a frequência, maior o λ e quanto maior a frequência, menor o λ .

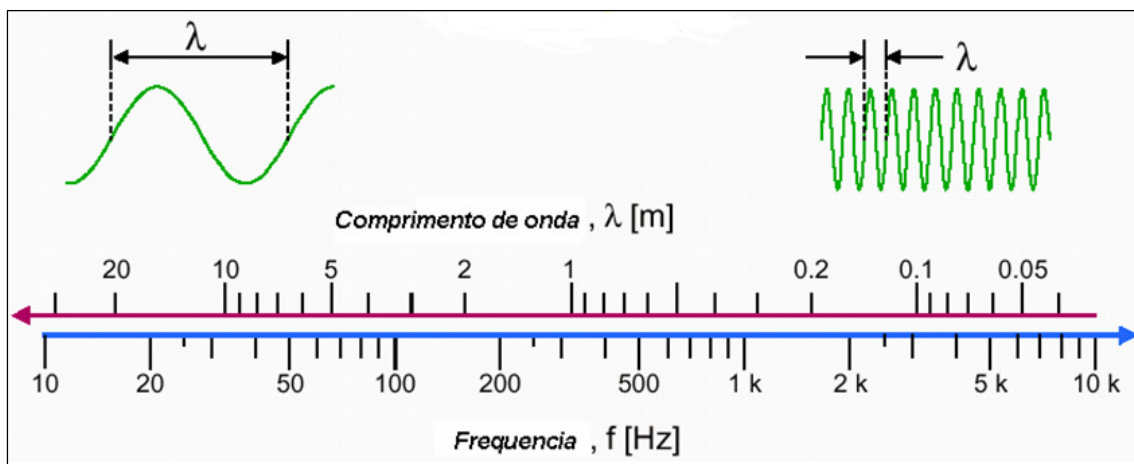


Figura 2 – Unidades de medida de ondas

2.2.2. Velocidade

A velocidade do som é a distância percorrida por uma onda sonora por unidade de tempo. É a velocidade a que uma perturbação se propaga num determinado meio.

A velocidade do som no ar é dada por:

$$c = 322 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

Onde:

c: é a velocidade do som no ar (m/s)

t: é a temperatura do ar (°C)

Por ser uma onda mecânica o som se propaga mais rapidamente nos sólidos do que nos líquidos e, nos líquidos, mais rapidamente do que nos gases. A onda sonora não se propaga no vácuo.

$$V_{\text{sólido}} > V_{\text{líquidos}} > V_{\text{gases}}$$

Meio	Velocidade [m/s]
Ar	340
Água	1410

Tabela 1 – Velocidades de propagação do som em vários meios

2.2.3. Intensidade, Pressão e Potência Sonora

Outras definições também se fazem necessárias para seguir nossos estudos.

A Pressão Sonora (P) – É a diferença entre a pressão instantânea do ar na presença de ondas sonoras e a pressão atmosférica. Unidade SI: Pa (Pascal).

O nível de pressão sonora (L_p) em um determinado ponto no espaço é uma grandeza relativa, tendo como referência o valor de $P_0 = 20 \text{ mPa}$ ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$) e expresso em decibel (dB).

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P^2}{P_0} \right)$$

Potência Sonora (W) – pode ser definida como a energia acústica total emitida por uma fonte por unidade de tempo, sendo a unidade de medida o Watt ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).

O nível de potência sonora (L_W) de uma fonte é uma grandeza relativa, considerando como referência $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ (1 picowatt).

$$L_W = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

Intensidade (I) é uma característica do som que é definida como valor médio do fluxo de energia por unidade de área perpendicular à direção de propagação. Sua unidade fica: W/m^2 .

O nível de intensidade sonora é uma grandeza relativa, considerando como referência a intensidade $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

O nível de intensidade do som que se quer determinar define-se:

$$\text{Nível de Intensidade} = \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Na prática, usa-se o decibel (dB) como unidade de medida, de forma que:

$$\text{Nível de Intensidade} = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

2.3. Propagação

O som se propaga por movimentos oscilatórios das moléculas em seus pontos originais causando regiões de condensação e rarefação (variando a pressão).

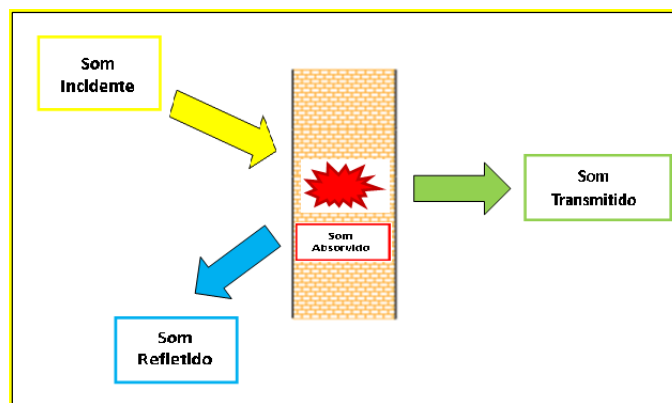


Figura 3 – Propagação da onda sonora ao encontrar um obstáculo – lembrando que o som absorvido é aquele que é dissipado em calor.

2.3.1. Reflexão especular

Há reflexão especular quando, para ondas de qualquer natureza, os ângulos dos raios incidentes e refletidos são iguais em uma mesma superfície independente de sua natureza. Contudo, a forma da superfície - plana (a), convexa (b) ou côncava (c) - interfere na direção do raio refletido. A reflexão é a responsável pelos ecos e reverberações

2.3.2. Absorção e Refração

Quando uma onda sonora incide sobre uma parede, uma parte da energia sonora é refletida e a parte não refletida é absorvida. A energia absorvida pode ser transmitida para outro espaço ou transformada em energia térmica na parede.

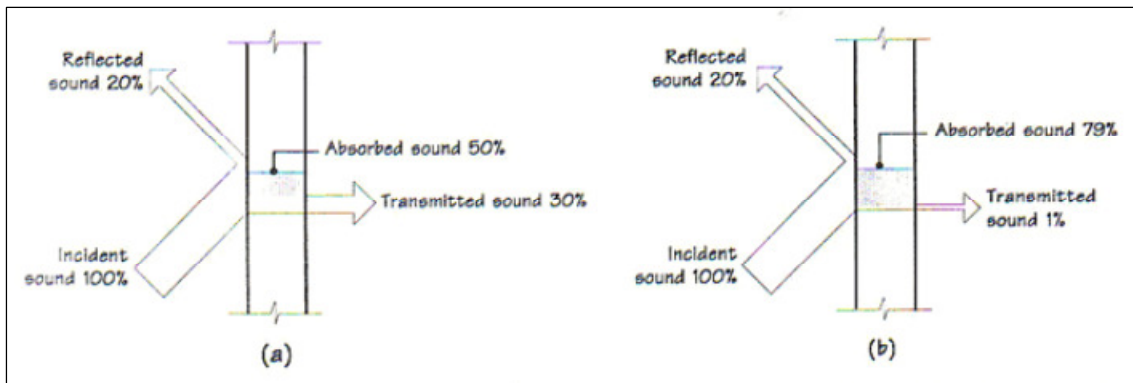


Figura 4 – Exemplos de transmissão de ondas por um obstáculo

A refração é a mudança de direção de propagação das ondas sonoras quando elas passam de um meio para outro.

Na propagação na atmosfera, a velocidade das ondas sonoras sofre mudança em função da variação da temperatura do ar com a altura. As ondas sonoras produzidas por uma aeronave no ar vão ser refratadas na sua propagação, mudando de direção em função do gradiente de temperatura no ar, o qual funciona como uma mudança de meio para a onda.

2.3.3. Difração

A Difração é um fenômeno em que um campo sonoro é modificado pela presença de obstáculos. Quando se coloca um obstáculo entre uma fonte sonora e o ouvido, por exemplo, o som é enfraquecido, porém não extinto. As ondas sonoras não se propagam somente em linha reta, mas sofrem desvios nas extremidades dos obstáculos que encontram.

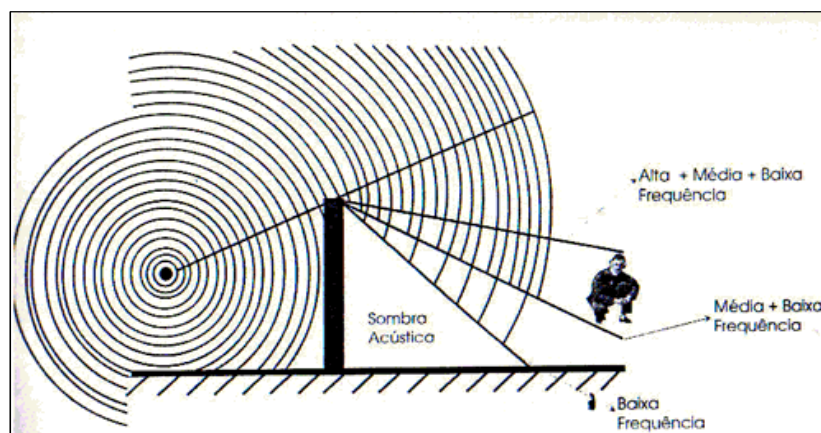


Figura 5 – Esquema de difração da onda sonora

2.3.4. Interferência de ondas

Quanto a Interferência de ondas podemos caracterizar como uma superposição de dois ou mais campos sonoros coerentes. Neste caso, teremos uma região do espaço na qual, em certos pontos, ouviremos um som forte, e em outros, um som fraco ou ausência de som. Podemos ter interferência:

- Construtiva: ondas em mesma fase somam suas amplitudes.
- Destrutiva: ondas em fases de signo oposto anulam sua amplitude resultante.

Temos como exemplo, o caso da reflexão do som por uma superfície, neste caso temos o campo direto e o campo refletido que são coerentes que pode gerar interferência construtiva ou destrutiva dependendo das fases das ondas que os constituem.

3. RELAÇÃO ENTRE HOMEM E SOM

3.1. Percepção humana do som

De modo geral, as pessoas reagem diferentemente ao mesmo ruído. O ruído que incomoda uma pessoa pode ser imperceptível ou agradável para outra pessoa. A sensibilidade auditiva das pessoas, com boa capacidade auditiva, pode variar de 20 dB de uma pessoa para a outra. Segundo a FAA (1985), essa alteração na resposta é que torna difícil de avaliar a resposta comunitária, sendo praticamente impossível prever a resposta individual a uma determinada exposição sonora. Em geral, é mais apropriado avaliar a disposição de uma população a uma determinada resposta.

Na acústica física existem três elementos de base a se considerar: a fonte emissora; o caminho e o receptor.



Figura 6 – Fonte, Caminho e Receptor

- A **fonte emissora** do ruído pode ser classificada em fixa ou móvel e quanto a sua direção, em omnidirecional ou direcional;
- O **caminho** é o trajeto que o som percorre até alcançar o receptor. Dependendo da trajetória, pode ser classificado em: direto ou incidente e indireto (refletido, absorvido, transmitido e difratado);
- O **receptor** recebe o som emitido pela fonte.

Uma vez separados esses conceitos analisaremos o efeito do som da fonte quando captado pelo receptor ultrapassando o caminho de transmissão.

3.1.1. Recepção do som pelo ouvido

A função do sistema auditivo é transformar ondas mecânicas do som em impulsos elétricos (entendíveis ao cérebro).

O sistema auditivo é composto por três partes:

- **O ouvido externo:** pavilhão (“concha acústica” - cartilaginosa), que capta os sons encaminhando-os pelo canal auditivo até o tímpano;
- **O ouvido médio:** tímpano (membrana) vibra e transmite a energia para os ossículos martelo, bigorna e estribo, nesta ordem, reduzindo a amplitude da onda e intensificando a energia para o ouvido interno;
- **O ouvido interno:** membrana basilar e cóclea (caracol), preenchida de líquido que transmite a energia vibratória às células, e estas mandam estímulos eletroquímicos ao cérebro pelo nervo auditivo.

O som mais grave que o ouvido humano consegue detectar é de aproximadamente 20 Hz, e mais agudo está na faixa de 20.000 Hz.

Segue abaixo uma tabela com alguns exemplos de faixas de frequências:

Frequência	Onda sonora
<20 Hz	Infra-Som
20 Hz a 20000 Hz	Sons Audíveis (Humano)
20000 Hz a 10 GHz	Ultra Som
>10 GHz	Hiper-Som

Tabela 2 - Frequência X Onda sonora

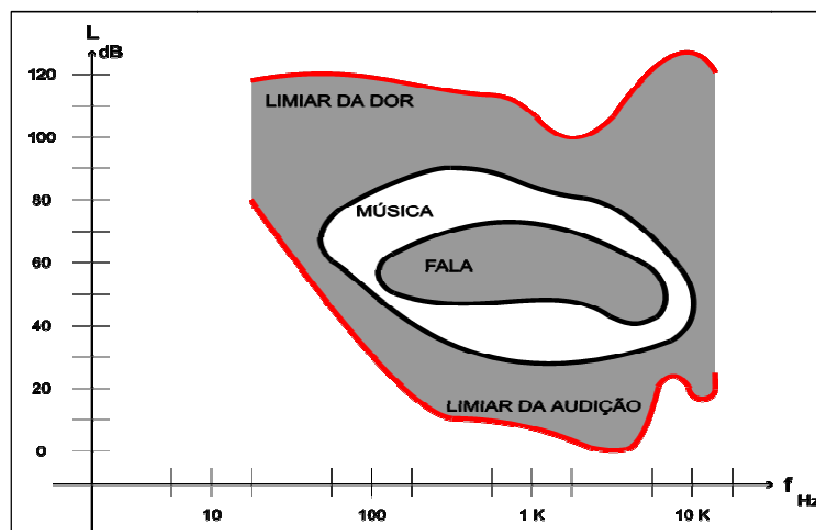


Figura 7 – Curvas de Audibilidade Humana

3.2.Som X Ruído

O som é uma sensação auditiva que nossos ouvidos são capazes de detectar. Podemos caracteriza-los pela agradabilidade ou desconforto que causam.

Sons musicais - compostos por uma frequência fundamental (que dá a tonalidade) e várias frequências de valor múltiplo inteiro da fundamental (harmônicas), dependendo do timbre. É o caso dos sons produzidos por alguns instrumentos musicais.

Ruído – podemos defini-lo como qualquer som indesejável e na maioria das vezes composto por inúmeras frequências sem que exista um padrão que as relacione diretamente. O resultado é um sinal complexo, sem uma frequência fundamental fixa sendo, portanto um sinal não periódico. Estes sinais têm um comportamento imprevisível e, conseqüentemente, são difíceis de caracterizar com exatidão.

Segundo sua distribuição temporal os ruídos podem ser classificados como:

- **Ruído Contínuo:** É aquele cuja variação de nível de intensidade sonora é muito pequena em função do tempo, (período superior a 15 minutos e com variação de ± 3 dB).



Figura 8 – Ruído Contínuo

- **Ruído Flutuante:** É aquele que apresenta grandes variações de nível em função do tempo.

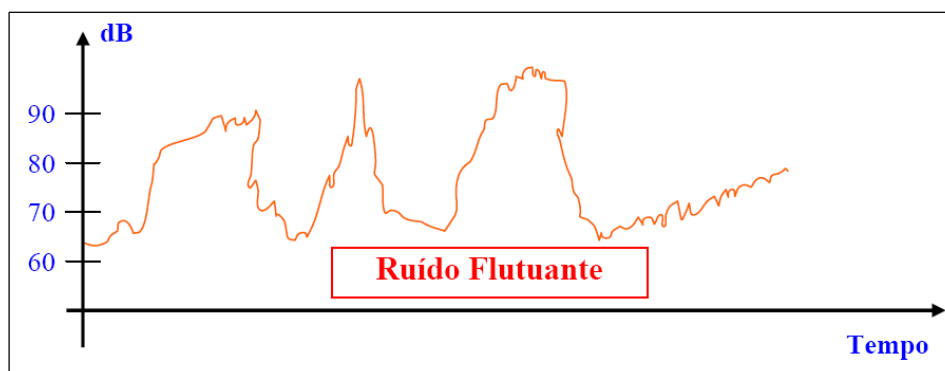


Figura 9 – Ruído Flutuante

- **Ruído Não Contínuo:** Os ruídos não contínuos se subdividem em:
 - Pulsantes (variação acima de ± 3 dB e duração entre 15 minutos e 10 ms);
 - Impulsivos ou de impacto (é o ruído cuja intensidade aumenta acentuadamente durante um pulso. A duração desse impulso é muito curta em comparação com o intervalo de tempo entre um pulso e outro);



Figura 10 – Ruído Impulsivo

- Intermitente (dentro do intervalo de 15 minutos variando de ± 3 dB. É o caso do ruído produzido pelo movimento das aeronaves. O ruído existe somente durante a passagem das aeronaves. Ele vai se superpor ao ruído ambiente produzido por outras fontes sonoras.).

3.3.Conforto Acústico

O conforto acústico para realização de uma determinada atividade é subdividido em três áreas: nível de conforto, nível de aceitabilidade e incômodo. A presença de um ruído nem sempre significa incômodo, desde que o seu nível se encontre abaixo dos níveis estipulados.

Segue abaixo a imagem ilustrativa dos níveis internos de conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula. Tomando como referência a Norma ABNT NBR 10152.

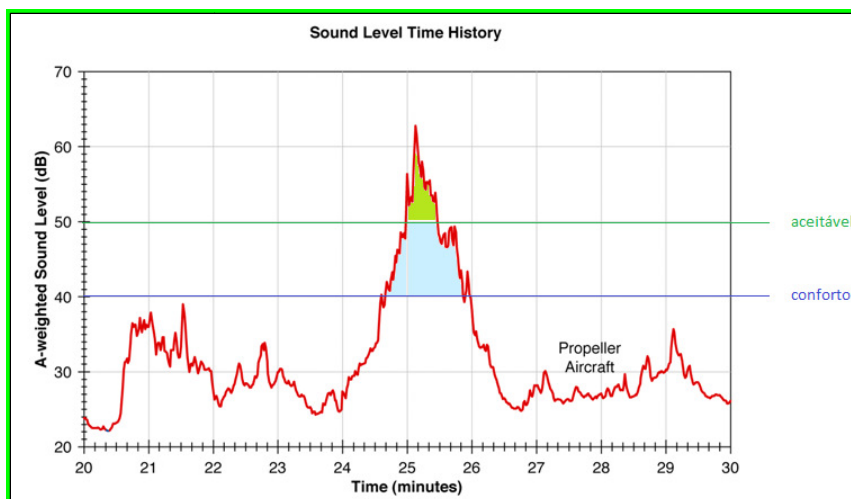


Figura 11 – Níveis Internos de Conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula

Em um ambiente acústico a presença de um ruído combinado com duração limitada pode ser aceito pela população, ou seja, apesar dele estar presente não provoca danos a ninguém e pode ser suportado, embora não se caracterize como nível de conforto. Acima desse nível o ruído passa a ser um fator de incômodo e o ambiente afetado necessita de um tratamento acústico capaz de manter os níveis dentro do parâmetro aceitável.

Devido à diversidade de cenários ruidosos e ambientes diversos, foram criadas normas brasileiras para padronizar os níveis de ruído aceitáveis para cada localização.

Valor em dB(A) pelo qual o nível sonoro corrigido ultrapassa o nível critério	Resposta estimada da Comunidade	
	Categoria	Descrição
0	Nenhuma	Não se observa reação
5	Pouca	Queixas esporádicas
10	Média	Queixas generalizadas
15	Enérgicas	Ação Comunitária
20	Muito enérgicas	Ação comunitária vigorosa

Figura 12 - Tabela da Norma NBR 10151, versão de 1987

Como podemos ver na tabela acima a norma de 1987 relaciona o nível excedente de ruído com os sintomas que podem causar na população atingida, enquanto na última versão esses sintomas não são citados.

3.4.Os efeitos do ruído Aeroportuário no homem

Muitos estudos apontam a poluição sonora como a forma mais difundida de poluição no mundo atual e a relacionam com danos à saúde das pessoas.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001) considera que há grupos da população mais vulneráveis ao ruído dos aviões, em comparação com a população geral, como as crianças, por exemplo.

A exposição sonora ao ruído das aeronaves parece prejudicar a aprendizagem, a leitura, reduz a motivação e o desempenho cognitivo durante a infância. As evidências indicam que quanto maior a exposição, maior o dano. Por isso creches e escolas não devem ser localizadas perto das principais fontes de ruído urbanas, tais como rodovias, aeroportos e zonas industriais.

A população adjacente a aeroportos sofre com os efeitos diurnos e noturnos causados pelo ruído aeroportuário. A seguir serão detalhados os principais problemas encontrados como: mascaramento da fala, interferência no sono, entre outros.

Interferência na comunicação oral:

Os sinais de fala constituem rápidas flutuações de pressão geradas pela voz, cuja maior parte da energia acústica está na faixa de frequências de 100 Hz e 6000 Hz, sendo que o maior suporte está entre 300 e 3 000 Hz.

A interferência na fala é basicamente um processo onde um ruído perturbador está dificultando a compreensão da fala pelo ouvinte. À medida que o nível de pressão sonora de um ruído perturbador aumenta automaticamente as pessoas levantam a voz para superar os efeitos devidos ao mascaramento da fala (aumento do esforço vocal). No entanto, o esforço de interpretação necessária para compensar o efeito de mascaramento da fala e para compreender o que foi dito, também impõe uma tensão adicional ao ouvinte.

Especialmente vulneráveis a estes tipos de efeitos são os deficientes auditivos, os idosos, as crianças no processo de aquisição da linguagem e de leitura, e os indivíduos que não estão familiarizados com a linguagem falada local.

Interferência no Sono:

A boa qualidade do sono é conhecida como uma condição essencial para o bom funcionamento fisiológico e mental das pessoas saudáveis.

O efeito do ruído aeronáutico no sono é uma preocupação reconhecida de longa data daqueles interessados em determinar o impacto do ruído sobre as pessoas e tem se tornado uma queixa comum das comunidades adjacentes ao aeroporto expostas ao ruído.

O sono é um estado de repouso relativamente frágil que pode ser interrompido através de estímulos diversos, dentre os quais o ruído. Estima-se que 80 a 90% dos casos relatados de perturbação do sono em ambientes ruidosos estejam relacionados ao ruído ambiental.

Os principais efeitos de perturbações do sono são: dificuldade em adormecer, insônia uma ou mais vezes por semana; despertar durante o sono e alterações nos estágios de profundidade do sono.

Segundo a FICAN, 1997, após uma noite de exposição ao ruído, podem ocorrer mudanças no humor, redução do desempenho no trabalho das pessoas e maiores riscos de acidentes.

O ruído noturno é principalmente, nocivo aos idosos e as pessoas que se encontram em desordem psíquica ou fisiológica, por esta razão é muito prejudicial a regiões com presença de hospitais e residências.

Os valores recomendados pela norma NBR 10152, para o interior dos quartos é de 35 dB para conforto e de 45 dB para aceitabilidade. Assim para um bom sono, acredita-se que os níveis de pressão sonora não devem exceder um L_{Amax} de 45 dB mais de 10 a 15 vezes por noite (Vallet & Vernet 1991apud WHO).

Outros Efeitos:

Como já visto anteriormente, o ruído pode agir de diversas formas nocivas ao homem, por ser um fator gerador de stress ou provocar danos no sistema auditivo. Porém, por trás dos principais efeitos existem aqueles que não aparecem de imediato e podem durar mais de um dia depois de ocorrido o evento.

Basicamente, esses efeitos podem ser divididos em duas categorias: psicológicos e fisiológicos.

Os efeitos psicológicos podem ser temporários ou permanentes e afetam grande parte dos expostos a ruídos, porém, por não serem aparentes de imediato podem ser de difícil identificação. Podem se manifestar das seguintes formas: perda da concentração; perda dos reflexos; irritação permanente; insegurança quanto à eficiência dos atos; embaraço nas conversações; perda da inteligibilidade das palavras e impotência sexual.

Efeitos fisiológicos já são mais visíveis e podem ser encontrados na forma de: dores de cabeça; fadiga; distúrbios cardiovasculares; distúrbios hormonais; disfunções digestivas; mudanças na respiração.

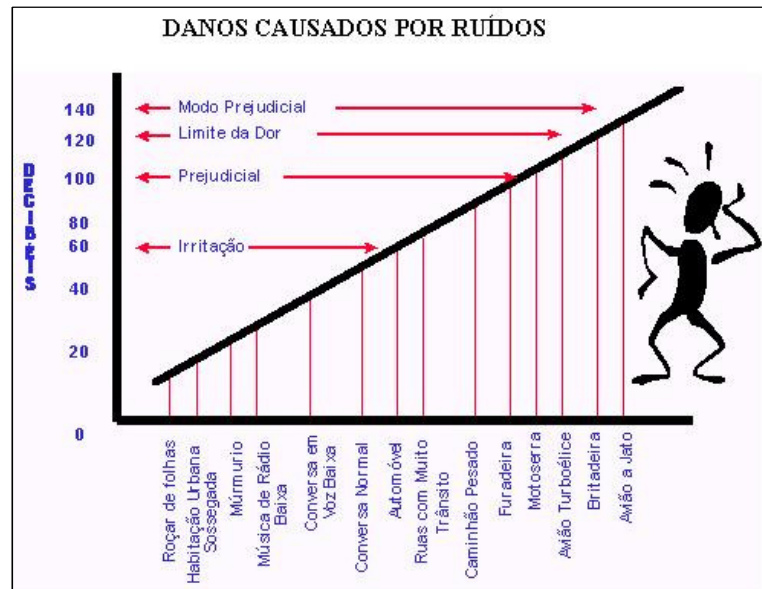


Figura 13 – Danos à saúde causados por ruídos

4. RUIDOS AEROPORTUÁRIOS

4.1. O Ruído Aeroportuário

Um dos principais problemas de impacto ambiental decorrente da atividade aeroportuária em uma determinada região é o ruído aeroportuário, que consiste em todo ruído gerado pelo aeroporto em operação e pelas aeronaves se relacionando diretamente às operações de pouso, decolagem, e sobrevoos de aeronaves.

As diversas fontes emissoras provenientes das atividades aeroportuárias às quais as comunidades próximas ao aeroporto estão expostas, não são estacionárias com relação ao tempo.

O ruído aeroportuário se caracteriza por um ruído intermitente ou não estacionário com elevados níveis sonoros, principalmente nas baixas frequências, causando vários efeitos adversos sobre a população submetida a tal exposição sonora como foi visto anteriormente.

4.2. Componentes Geradores de Ruído

Analisando separadamente o avião como gerador de ruído, conseguimos observar as principais fontes que são: os ruídos aerodinâmicos e os ruídos de propulsão. A seguir, será feito um rápido estudo descritivo de cada componente que contribui para o aumento do ruído de uma aeronave.

4.2.1. Ruído Aerodinâmico

Esse tipo de ruído é gerado pela passagem do fluxo de ar pela fuselagem do avião e varia de acordo com a sua configuração, velocidade e altura devido à densidade do ar.

As principais fontes de ruídos aerodinâmicos (ou ruídos de airframe) durante o pouso e a decolagem são o trem de pouso e as superfícies ao redor das asas, conjunto formado pela asa, flaps e slats, dispositivos móveis localizados nas asas dos aviões com a função de aumentar a área de superfície e elevar a sustentação da aeronave. O ruído é causado pelo turbilhão de ar e pelas variações de pressão nesses pontos.

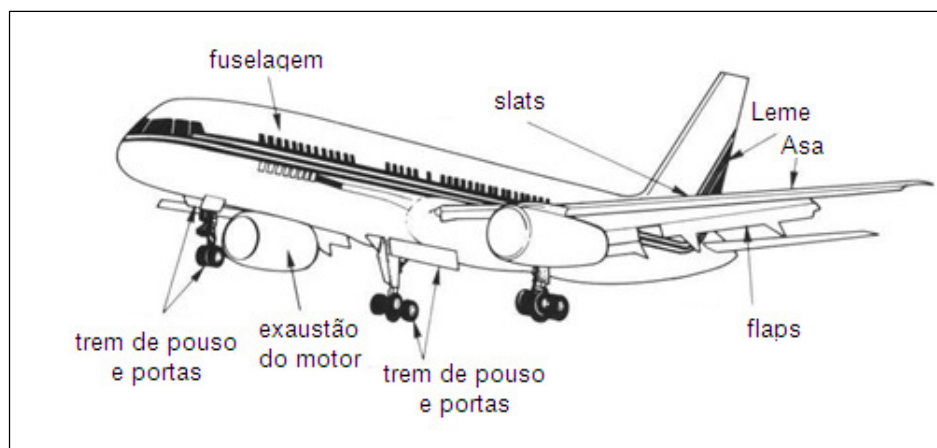


Figura 14 – Principais fontes de ruído aerodinâmico de um avião

É na fase de pouso que o ruído aerodinâmico é mais relevante. Pois, é necessário que o avião mude a configuração de seus *flaps* e *slats* para obter uma sustentação estável a uma baixa velocidade necessária para essa operação, criando, assim, turbulência nas asas.

4.2.2. Ruído de Propulsão

Para que uma aeronave seja capaz de se erguer no ar, é necessário que haja uma força de empuxo (ou propulsão) que vença as demais forças atuantes. A força de empuxo é gerada pelos motores das hélices ou pelas turbinas do avião. No motor que estão situadas as grandes fontes de ruído.

Os ruídos oriundos do motor são basicamente, aqueles provenientes da partida do motor (ruído externo), da movimentação dos componentes mecânicos e da combustão dos gases (ruído interno). Porém, cada tipo de motor, ou turbina, possui uma característica distinta que favorecerá ou penalizará a quantidade de ruído produzida.

Os motores que serão analisados são referentes apenas às aeronaves subsônicas, já que esse é o tipo predominante na aviação comercial e, portanto, maior provocador de ruídos.

A seguir serão mostrados os motores a jato desenvolvidos para melhorar o desempenho dos aviões comerciais.

a) Motores Turbo Jato

Os primeiros motores a jato foram os motores turbo jato, que também são conhecidos como “motores a jato puro”, pelo fato de sua força propulsiva ser conseguida exclusivamente pelos gases expelidos, a alta velocidade, pelo tubo de escapamento.

O funcionamento do motor turbo jato consiste em admitir uma massa de ar no compressor giratório e comprimi-la a uma pressão superior antes de entrar na câmara de combustão. O combustível é misturado com o ar comprimido e inflamado por uma faísca, aumentando significativamente a temperatura do gás por meio da combustão da mistura. Os produtos quentes da combustão que saem do combustor expandem-se através da turbina, onde a potência é extraída para dirigir o compressor. Embora este processo de expansão reduza a temperatura e a pressão do gás da saída da turbina, ambos os parâmetros estão ainda bem acima das condições ambiente. O fluxo de gás saído da turbina expande-se até a pressão ambiente através do bocal de propulsão, produzindo um jato de alta velocidade à saída do motor.

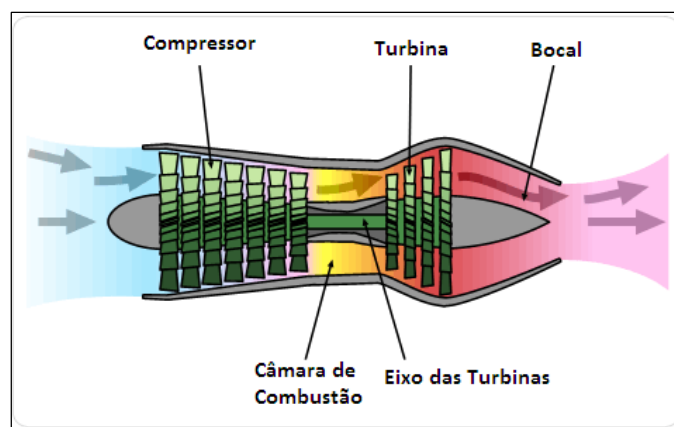


Figura 15 – Motor tipo Turbo Jato

Os motores turbo jato desenvolvem boa força propulsiva, porém, em baixa altitude e velocidade, consomem quantidade demasiada de combustível. São motores muito barulhentos, devido ao choque do ar quente dos gases de escapamento com o ar frio da atmosfera, provocando ruídos de grande intensidade em altas frequências.

b) Motores Turbofan

Os motores que vieram a seguir tinham como objetivo melhorar o desempenho do anterior, ou seja, minimizar o gasto de combustível ao mesmo tempo em que maximizava a altura e velocidade atingidas pela aeronave. Esse novo motor é, atualmente, o tipo mais usado na aviação comercial.

Uma das especificidades desse motor é a presença de um compressor de baixa pressão, que age como um ventilador, levando ar não apenas para o centro do motor, mas também para um duto secundário. O fluxo de ar secundário passa por um "bocal frio" ou é misturado com gases de exaustão à baixa pressão da turbina antes de se expandir com os gases do fluxo principal, processo esse denominado by-pass.

O by-pass permite uma grande redução do nível de ruído, pois, ao unir os dois fluxos de ar no bocal, reduz a temperatura do fluxo total de ar, que está mais próxima da temperatura do ar externo à aeronave, proporcionando desta forma, um menor choque térmico entre os gases de combustão e o ar frio da atmosfera, que é uma grande fonte de ruído. Além disso, o by-pass permite um aumento da eficiência do motor, uma vez que, para uma mesma quantidade de combustível, o empuxo resultante é maior que o obtido para um motor do tipo jato puro.

Outra grande diferença é que esses motores são compostos de um motor turbojato interligado ao fan, uma espécie de hélice, normalmente localizado na entrada do compressor, que apresentará uma região de diâmetro maior do que o usado no turbojato. As pás do fan giram com velocidades da mesma ordem de grandeza que o motor (compressor-turbina) e produzem de 30 a 75% da sua força de tração. Com estas características, o motor turbofan é capaz de impulsionar uma quantidade maior de massa gasosa do que um motor turbojato, uma vez que sua área de admissão também é maior.

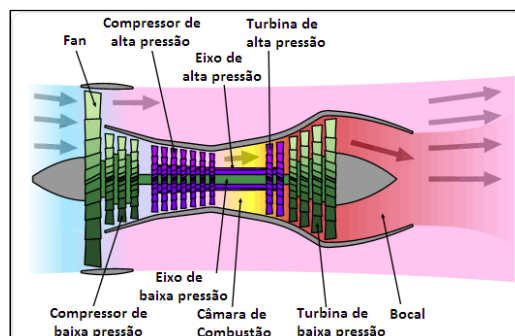


Figura 16 – Motor do tipo Turbofan

Os motores *turbofan* da nova geração têm maior eficiência, pois utilizam taxas de *by-pass* superiores.

4.3. Curvas de Ruído das Aeronaves

Na figura abaixo, temos as linhas de contorno com os níveis de ruído produzidos por diferentes tipos de aeronaves durante a decolagem e aterrissagem, representando o nível sonoro máximo momentâneo percebido no solo durante o sobrevoo da aeronave. O contorno mais externo indica nível de 65 dB(A). Os outros contornos situam-se a um incremento de 10 dB(A) (75, 85 e, em alguns casos, 95 dB(A)). Este conjunto de contornos de ruído é conhecido por curvas de ruído da aeronave, ou ainda, footprint da aeronave esses valores foram obtidos com as mesmas condições de simulação feitas para nossas análises de ruídos.

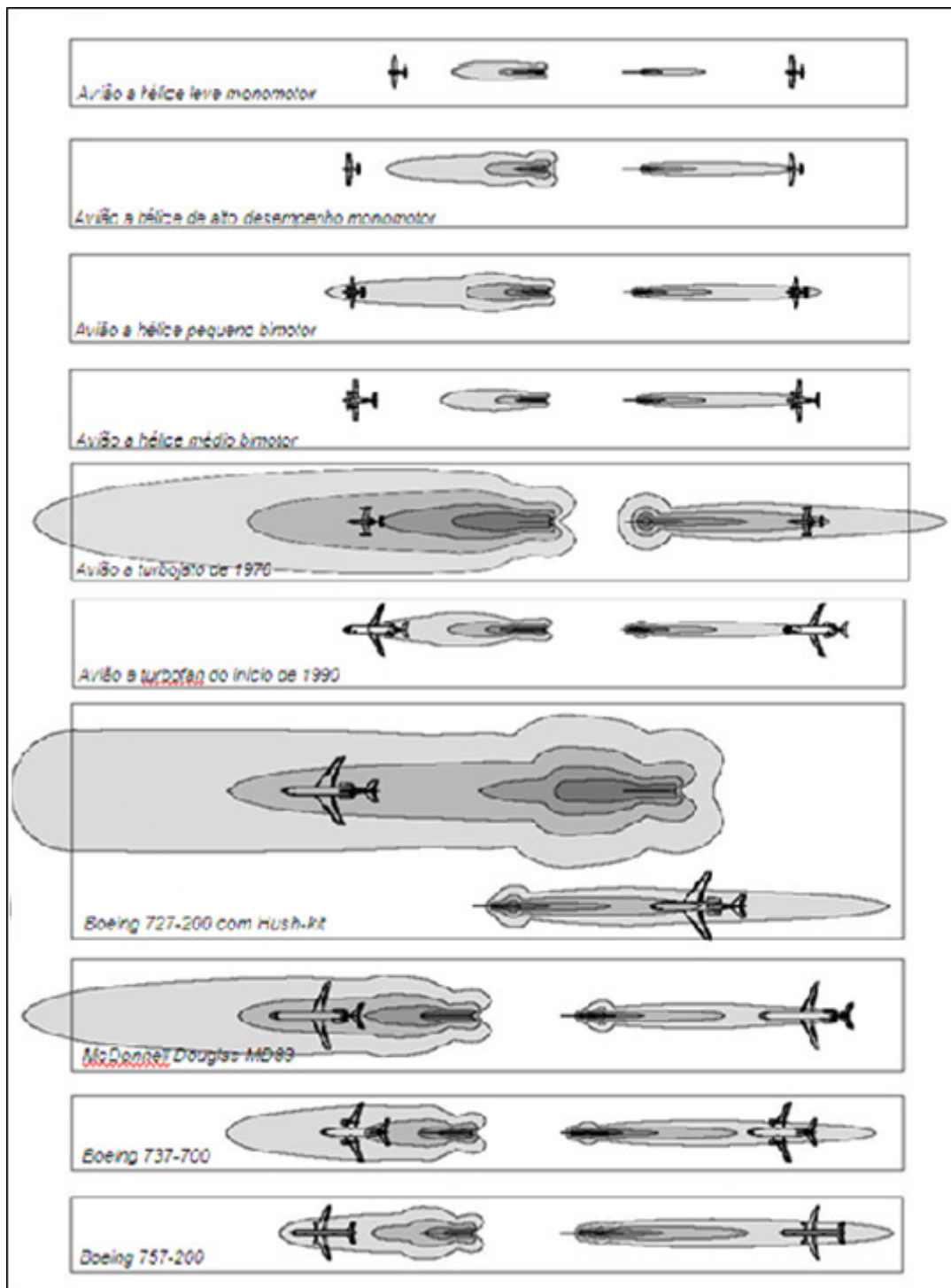


Figura 17 – Footprints gerados por uma aterrissagem e uma decolagem de diversas aeronaves

4.4.Classificação das aeronaves quanto ao ruído emitido

Antes que qualquer aeronave entre em operação, ela deve passar pelo processo de certificação estabelecido pela Convenção relativa à Aviação Civil Internacional – Environmental Protection, Volume I – Aircraft Noise que estabeleceu o primeiro conjunto de normas e práticas recomendadas sobre ruído e certificações (Anexo 16).

A Organização da Aviação Civil Internacional ou OACI, também conhecida por sua sigla em inglês, ICAO (International Civil Aviation Organization), é uma agência especializada das Nações Unidas criada em 1944 com 190 países-membros, da qual o Brasil faz parte. O objetivo é orientar os países contratantes na gestão das questões relacionadas com a Aviação Civil Internacional.

O procedimento de certificação das aeronaves da OACI - Organização da Aviação Civil Internacional classifica as aeronaves em capítulos de acordo com a emissão sonora.

Seguem abaixo as classificações:

- NNC (Non Noise Certificated) – são as aeronaves não certificadas de acordo com o Anexo 16. Correspondem à primeira geração de aviões a jato fabricadas nas décadas de 50 e 60, são consideradas extremamente ruidosas como, por exemplo, o Boeing 707.
- Capítulo 2 – São as aeronaves fabricadas até outubro de 1977 e equipadas com a segunda geração de motores à reação e consideradas menos ruidosas que as aeronaves NNC (Boeing 727-100), que deveriam ser retiradas da frota global até abril de 2002, conforme previsto na Resolução A28-3, adotada pela OACI.
- Capítulo 3 – São as aeronaves mais modernas e consideradas pouco ruidosas, como por exemplo, Boeing 737-300, Airbus 319, fabricadas a partir da década de 80.

Em junho de 2001, com base nas recomendações realizadas durante o 5º encontro do Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP/5), a OACI adotou um novo capítulo padrão de ruído, o Capítulo 4, mais restritivo que o Capítulo 3.

As aeronaves mais silenciosas, do Anexo XVI da OACI, classificadas como Capítulo 4 reduziram de forma significativa o padrão de emissão sonora, se comparada às tecnologias anteriores.

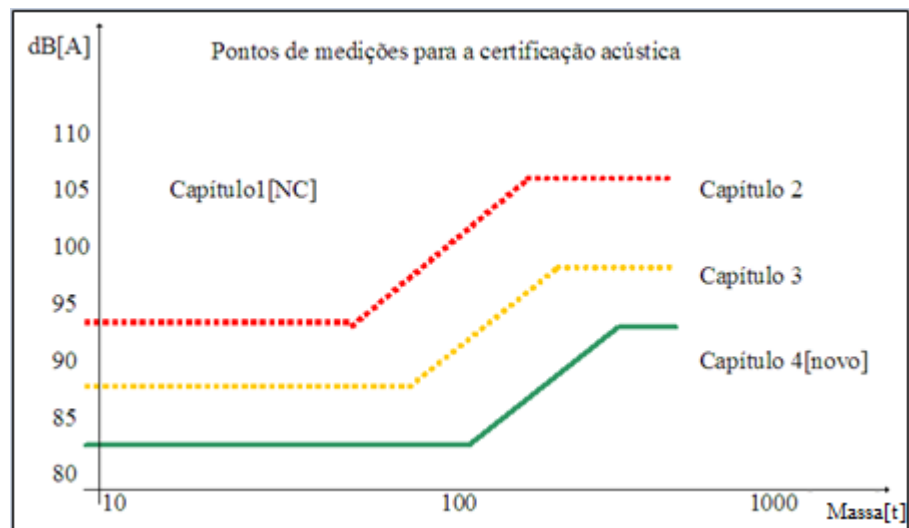


Figura 18 – Gráfico representando o nível de ruído das aeronaves classificadas por capítulos versus massa máxima em toneladas na decolagem

5. MÉTRICAS DE RUÍDOS MAIS UTILIZADAS

Iremos discutir as principais métricas utilizadas, para nos fornecer uma base para as análises seguintes. As duas principais são: Day Night Level (DNL) e o Nível de Pressão Sonora Equivalente LAeq.

5.1. Níveis de Pressão Sonora Equivalente

Nível de pressão sonora equivalente (LAeq), em decibéis ponderados [dB(A)]: é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo intervalo de medição no tempo. O LAeq é dado pela equação:

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_t^{(t+T)} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_t^{(t+T)} 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right]$$

Onde:

T: é o período de tempo, em segundos;

P_A: é o nível de pressão sonora, instantâneo, ponderado em A;

P₀: é o nível de pressão sonora de referência (2 x 10⁻⁵ Pascal).

No caso do ruído aeronáutico, devido à diferença do número de movimentos entre o dia e a noite é interessante utilizar duas métricas derivadas: o LAeqD, para o período diurno, e o LAeqN, para o período noturno.

5.1.1. LAeqD

O LAeqD é definido como o nível associado à média da energia sonora calculada no período diurno, entre o horário das 7:00h às 22:00h, totalizando 15 horas.

$$L_{AeqD} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{3600 \times 15} \int_7^{22} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right]$$

5.1.2. LAeqN

Como o próprio nome induz definimos este nível como o nível associado à média da energia sonora no período noturno, entre o horário das 22:00h às 07:00h, totalizando às 9 horas restantes.

$$L_{AeqN} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{3600 \times 9} \int_{22}^7 \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right]$$

5.1.3. Laeq,1h

O $L_{Aeq,1h}$ é o nível sonoro equivalente calculado durante uma hora cheia.

$$L_{AeqN} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{3600} \int_n^{n+1} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right]$$

Onde n está situado em um intervalo que vai de 0:00 hora até 23:00 horas.

5.2. Day - Night Level (DNL)

A métrica DNL diferentemente da L_{Aeq} analisa às 24h do dia, tirando uma média sonora da energia calculada no período de 24h.

O nível de ruído é acrescentado de 10dB(A) para os níveis sonoros que ocorrem durante o período noturno, compreendido entre às 22h e 7h do dia seguinte, devido à maior sensibilidade ao incômodo causado pelo ruído noturno.

A equação abaixo define matematicamente a métrica DNL, como o nível de exposição sonora no período de 24h dividido pelo número total de segundos durante o dia.

$$DNL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 24} \left[\int_{7*3600}^{22*3600} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt + 10 \int_{22*3600}^{7*3600} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] \right\}$$

Pode-se dizer que o cálculo do DNL é similar ao do L_{Aeq} , mas com a diferença que o DNL penaliza o ruído noturno em 10dB e é calculado num período de 24 horas.

6. NORMAS E LEGISLAÇÃO

De acordo com a resolução CONAMA nº1 de 8 de março de 1990 (principal referência de legislação sobre ruído em comunidade) que remete a norma ABNT NBR 10151 temos que:

I - A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.

II - São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

6.1.Norma NBR 10151- “Acústica -Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”

A NBR 10.151 baseia-se na avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto acústico da comunidade. Esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, estabelece condições físicas para a medição de ruído, aplica correções nos níveis medidos (de acordo com a duração, característica espectral e fator de pico) e faz uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais. A NBR 10.151 também estabelece os procedimentos de medição e avaliação da acústica e os limites de níveis sonoros em ambientes externos.

O método de avaliação envolve as medições do nível de ruído, na escala de compensação A, em decibel (comumente chamado dB (A)).

A NBR 10151 estabelece instrumentos para avaliar a influência sonora de atividades sobre as cidades, já que fornece os níveis de ruído recomendáveis para áreas urbanas de acordo com o período do dia (noturno de 22h às 7h para dias de semana e 22h às 9h para domingos e feriados) e com as características da zona em questão; assim, a NBR10151 constitui-se um dos principais instrumentos para gestão e uso do solo.

A tabela apresenta os níveis de ruído para cinco tipos de áreas urbanas e um tipo de área rural, totalizando seis áreas com usos e ocupações do solo distintos, definidas pela própria NBR 10.151.

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

Tabela 3 - Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A).

Fonte: NBR 10151/ 2000

Segundo a NBR 10151 “o tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão” desta forma justifica a adoção do tempo de avaliação para o período diurno associado à métrica LAeqD e o período noturno associado à métrica LAeqN.

6.2.Norma NBR 10152- “Níveis de ruído para conforto acústico”

Esta Norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos.

Na tabela estão listados os níveis para cada um dos ambientes mencionado na norma.

Nesta tabela, o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Os níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde. Enquanto a ABNT NBR 10.151 é utilizada para ambientes externos a ABNT NBR 10.152 é dedicada a ambientes internos.

Locais	Conforto – Aceitabilidade dB(A)
Hospitais	
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos.	35 – 45
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 – 50
Serviços	45 – 55
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 – 45
Salas de aula, Laboratórios	40 – 50
Circulação	45 – 55
Hotéis	
Apartamentos	35 – 45
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55
Residências	
Dormitórios	35 – 45
Salas de estar	40 – 50
Auditórios	
Salas de concertos, Teatros	30 – 40
Salas de conferência, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45
Restaurantes	40 – 50
Escritórios	
Salas de reunião	30 – 40
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 – 45
Salas de computadores	45 – 65
Salas de mecanografia	50 – 60
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 – 50
Locais para esporte	
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60

Tabela 4 - Critério de Avaliação para ambientes internos, em dB (A).

6.3.Norma NBR 13.368 – “Ruído gerado por aeronaves – Monitoração”

A norma NBR 13.368 prescreve o método para a monitoração de ruído gerado por aeronaves.

Podemos coletar dois resultados quando aplicamos esta norma. Verificamos a existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico (Lra) em relação ao ruído

de fundo (Lrf) e também conseguimos a avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias. O tempo de medição dos níveis sonoros para a análise é de uma hora.

Pelas tabelas abaixo conseguimos enquadrar nossos resultados:

A tabela 5 faz referência à relação entre o ruído de fundo e o ruído aeronáutico.

Impacto Sonoro	Lra - Lrf [dB]
Desprezível	<3
Significativo	>3

Tabela 5 – Verificação da existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico em relação ao ruído de fundo

Já na tabela 6 conseguimos avaliar o incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Reclamações Esperadas	Diurno [dB]	Noturno [dB]
Sem reações ou queixas esporádicas	Leq<65	Leq<55
Queixas generalizadas – Possíveis ações da comunidade	75>Leq>65	65>Leq>55
Ações comunitárias rigorosas	Leq>75	Leq>65

Tabela 6 – Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias

6.4. Abordagem Equilibrada

Com o crescimento da aviação cada vez mais tornaram se necessários estudos mais aprofundados dos impactos sonoros causados na população. Esses estudos são multidisciplinares, gerando a necessidade da criação de uma abordagem equilibrada, a qual relaciona todos esses parâmetros envolvidos.

Com isso, a 33^a Assembleia da OACI (Organização da Aviação Civil Internacional), realizada em outubro de 2001, adotou a Resolução A33/7 que define os conceitos da *Abordagem Equilibrada* no gerenciamento do ruído. Essa resolução foi transformada em diretriz na Comunidade Europeia e vale também no Brasil que é um dos participantes da OACI.

O conceito de Abordagem Equilibrada em Controle de Ruído Aeroportuário consiste em integrar as diversas políticas de controle de ruído adotadas em vários países, para cada um dos aspectos abaixo:

- Atenuação do ruído na fonte (aeronave mais silenciosa);
- Planejamento e gestão do uso do solo no entorno dos aeroportos; (Zoneamento em torno do aeroporto, tratamento acústico de fachadas, etc).
- Procedimentos operacionais; (Procedimento de pouso e decolagem com nível de ruído reduzido, CDA - continuous descent approach; NADP-. noise abbatment departure procedure).
- Restrições operacionais.

A aplicação dessas medidas visa estabelecer regras aplicáveis para favorecer a introdução de restrições de operação, de forma a limitar ou reduzir o número de pessoas afetadas pelos efeitos nocivos do ruído.

7. ZONEAMENTO AEROPORTUÁRIO

7.1.Plano de Zoneamento Aeroportuário - (PZR)

Documento elaborado nos termos da RBAC nº161 (Regulamento Brasileiro da Aviação Civil), que tem como objetivo representar geograficamente a área de impacto do ruído aeronáutico decorrente das operações nos aeródromos e, aliado ao ordenamento adequado das atividades situadas nessas áreas, ser o instrumento que possibilita preservar o desenvolvimento dos aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno.

Todo aeródromo civil ou compartilhado deve ter, obrigatoriamente, um PZR que será cadastrado pela ANAC.

O PZR é composto pelas Curvas de Ruído e pelas compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas, as quais representam níveis iguais de exposição ao ruído.

Para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 (três) anos superior a 7.000 (sete mil), deve ser aplicado um PEZR, já para os demais aeródromos, é facultado ao operador de aeródromo escolher o tipo de plano a ser elaborado, Plano Básico de Zoneamento de Ruído – PBZR ou PEZR.

7.2.Plano Básico de Zoneamento de Ruído – (PBZR)

Plano de Zoneamento de Ruído de Aeródromo composto pelas curvas de ruído de 75 dB e 65 dB com formas geométricas simplificadas e elaboradas nos termos, da RBAC nº161 a partir de perfis operacionais padronizados.

As curvas de ruído de um PBZR serão obtidas por meio do enquadramento de cada pista de pouso e decolagem do aeródromo em uma das quatro classes especificadas na Tabela 7, considerando o número de movimentos de aeronaves no ano anterior.

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

Tabela 7 – Valores das constantes utilizadas para o cálculo do PZR

Na Figura 19 conseguimos ver a disposição dessas curvas de ruído com suas dimensões.

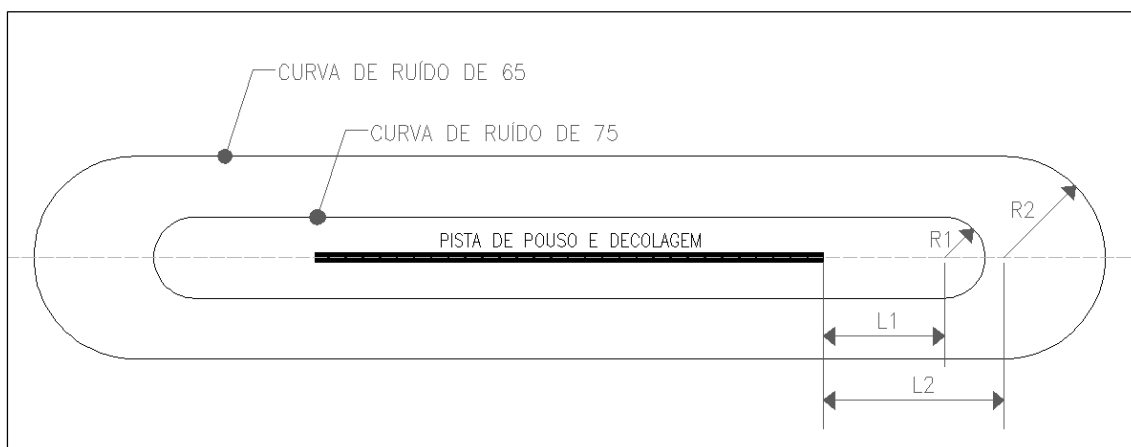


Figura 19 – Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário de acordo com a RBAC nº161

Legenda:

- L1: distância horizontal, medida sobre o prolongamento do eixo da pista, entre a cabeceira e o centro do semicírculo de raio R1.
- L2: distância horizontal, medida sobre o prolongamento do eixo da pista, entre a cabeceira e o centro do semicírculo de raio R2.
- R1: raio do semicírculo da curva de ruído de 75 com centro sobre o prolongamento do eixo da pista.
- R2: raio do semicírculo da curva de ruído de 65 com centro sobre o prolongamento do eixo da pista.

A elaboração de um PBZR para um aeródromo com duas ou mais pistas, (que seria o caso tratado) sejam elas existentes ou planejadas, considerará a composição das curvas de ruído referentes a cada pista, de acordo com a Figura 20.

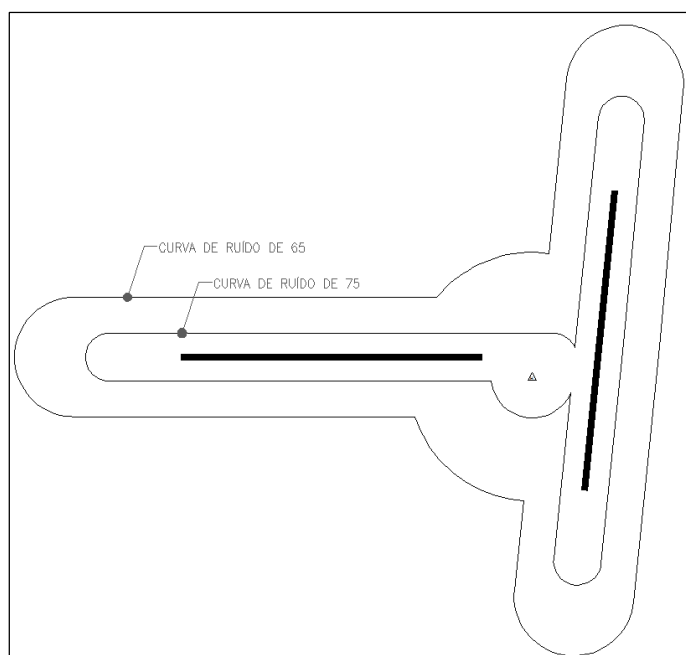


Figura 20 -Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário para aeroporto com duas pistas

7.3.Plano Específico de Zoneamento de Ruído – (PEZR)

Plano de Zoneamento de Ruído de Aeródromo composto pelas curvas de ruído de 85, 80, 75, 70 e 65 [dB] e elaborado nos termos da RBAC nº161, a partir de perfis operacionais específicos. Para calcularmos estas curvas utilizamos programas computacionais que usem metodologias apropriadas para a geração das mesmas na métrica DNL.

O operador de aeródromo deve calcular curvas de ruído para o sistema de pistas de pouso e decolagem previstos no planejamento para a expansão da infraestrutura aeroportuária, considerando a estimativa do número de movimentos e tipos de aeronaves, ao final do seu horizonte de planejamento.

7.4.Uso do Solo segundo a RBAC 161

Os usos permitidos do solo devem ser apresentados no PZR. A tabela a seguir apresenta os usos compatíveis para as curvas de um PEZR. Apenas a parte de interesse será representada (uso do solo para escolas).

Uso do Solo	Nível de Ruído Médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Acima de 85
Residencial						
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Alojamentos Temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N (1)	N	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Usos Públicos						
Educacional (exemplos: Universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou empreendimentos equivalentes)	S	25	30	N	N	N

8. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE INM PARA ANÁLISE DOS RUÍDOS

8.1.Descrição Geral

O software INM (Integrated Noise Model), desenvolvido pela FAA (Federal Aviation Administration – EUA), é utilizado em mais de 65 países e é adotado pelas principais entidades aeronáuticas, inclusive a INFRAERO. Atualmente se encontra na versão 7.0d lançada em 2012. Desenvolvido para avaliar o impacto ambiental sonoro provocado pelas operações aeronáuticas, nas áreas próximas aos aeroportos.

O INM permite a geração de várias curvas isofônicas (unindo pontos com valores de níveis de ruído especificados), no entorno do aeroporto, para um mesmo caso ou cenário onde cada um pode incluir diferentes aeronaves, operações de voos, métricas, etc. O Software possui um banco de dados muito vasto obtido de testes de homologação e certificação de aeronaves conforme FAR – Parte 36.

Ele foi utilizado no estudo de caso deste projeto para geração de curvas de ruído do aeroporto.

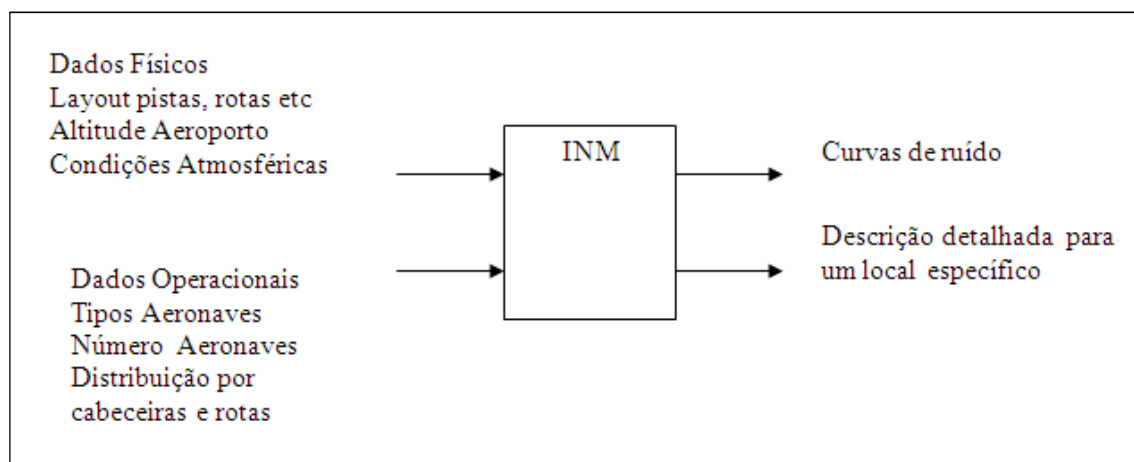


Figura 21 – Fluxo de entrada e saída de dados do INM

8.2.Dados de Entrada

Os principais dados de entrada incluem:

➤ **Dados Físicos:**

- Número de pistas
- Nome e coordenadas das pistas e cabeceiras (latitude/longitude)
- Comprimento e Largura das pistas

➤ **Dados Operacionais:**

- Número de aeronaves
- Tipos de aeronaves
- Número total de pousos e decolagens por dia
- Trajetórias utilizadas para aproximação e afastamento
- Procedimentos de decolagem e pouso
- Percentuais de utilização das rotas por cabeceiras
- Percentuais de operação no período diurno e noturno

➤ **Dados ambientais e geográficos:**

- Temperatura de referência
- Pressão
- Umidade relativa do ar
- Altitude
- Topografia

Todos os dados são coletados na AIP (Aeronautical Information Publication), na ANAC e na Infraero (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária). O modelo 7.0b suporta 16 métricas de ruído pré-definidas. O INM não considera a difração de som ao redor de terrenos, edifícios e barreiras e nem a absorção do solo.

Os valores utilizados para alimentar os dados operacionais foram obtidos mediante tratamento da planilha HOTRAN, fornecida pela ANAC. Os dados utilizados em nosso estudo são referentes ao período de JAN/2013.

8.3.Parâmetros de Saída

Os valores de saída gerados pelo software INM são as curvas de nível em diversas métricas. Os níveis sonoros nas tabelas do INM são baseados em quatro métricas: SEL, LAmax, EPNL e PNTLM. A partir destas o INM calcula os níveis sonoros em diversas outras métricas, como, por exemplo, DNL, TALA, LAeqD, LAeqN, entre outras.

Além disso, o INM pode calcular o valor, em decibéis, dos níveis sonoros em pontos específicos que merecem atenção especial devido a sua sensibilidade, tais como escolas, hospitais, igrejas, residências e universidades. Os contornos permitem a comparação entre os níveis sonoros gerados por tipos diferentes de avião e

procedimentos de voo. Para verificar quantas pessoas são expostas ao ruído, as curvas isofônicas são geralmente utilizadas em conjunto com a densidade demográfica da região estudada.

8.3.1. Cálculo

O INM utiliza um modelo de valor médio diário e foi projetado para estimar o efeito médio em longo prazo para um período anual – metodologia de cálculo da SAE-AIR-1875. Em vista disto, diferenças entre os valores previstos e medidos podem ocorrer, uma vez que não se pode calcular a média de algumas variáveis locais ou estas não podem ser explicitamente modeladas no INM. Exemplos de variáveis acústicas locais incluem: perfis de temperatura, gradientes de velocidade do vento, efeitos de umidade, atenuação do solo, padrões de diretividade individual de cada aeronave e difração do som por edifícios, terrenos, barreiras, etc. Também podem ocorrer diferenças devido a erros ou procedimentos impróprios durante a fase de coleta dos dados medidos.

Seu modelo não é um algoritmo acústico detalhado, pois a finalidade do INM não é conhecer os níveis sonoros exatos que gera uma determinada aeronave em um determinado voo, mas estimar os níveis sonoros gerados pelo tráfego do aeroporto.

8.3.2. Descrição das Operações e Aeronaves

O INM faz uso de informações de dois bancos de dados internos, obtidas através de procedimentos utilizados na certificação de ruído das aeronaves. O primeiro banco de dados traz parâmetros de desempenho dos aviões, como velocidade, potência, flaps, peso máximo para pouso e decolagem, entre outros; elementos estes utilizados para os cálculos de trajetórias. O segundo banco de dados é constituído por várias tabelas, denominadas NPD (Noise, Power and Distance), relacionando os níveis de ruído com a potência do motor da aeronave e a distância existente entre a fonte aeronave e o observador.

Os dados NPD são obtidos em medições de ruído de aeronaves durante as operações de voo de teste de certificação das aeronaves.

9. ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO DO RUÍDO PARA O AEROPORTO TOM JOBIM

9.1. Histórico do Aeroporto Antônio Carlos Jobim

A história do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, na Ilha do Governador, como base de antiga aviação naval, começa em 1924 com a instalação da escola de aviação. Fundada em 1916, a Escola de Aviação Naval teve suas primeiras instalações na Ilha das Enxadas, em 1924, posteriormente transferidas para local mais amplo na vizinha Ponta do Galeão.

Ali surgiram hangares, oficinas, quartéis, alojamentos de oficiais e praças, além da primeira Fábrica Nacional de Aviões, que produziu em série o primeiro modelo brasileiro, o Muniz 5, 7 e 9.

Ainda no Galeão, outras indústrias aeronáuticas produziam, sobre contrato com entidades estrangeiras como a Fokker alemã, aviões para aviação civil e militar. Também do Galeão saíram os primeiros Correios Aéreos Navais, em 1935.

A partir de 1945, o Galeão passou a ser, oficialmente, Aeroporto Internacional, uma vez que os antigos Hidroaviões da Pan American e da Condor, além de outras companhias, foram pouco a pouco substituídos nas rotas internacionais por aviões maiores, dotados de rodas, que precisavam de pistas em terra para pouso e decolagem. Os antigos “hidros” Sirorskys ou Junkers J-52, entre outros, cederam lugar aos Douglas DC-3 e DC-4 e Constelations da Lockheed.

Desde os anos da Segunda Guerra Mundial, o Galeão, foi além de movimentada base aérea da Força Aérea Brasileira, campo de pouso para aviões internacionais. Naquela época o acesso ao aeroporto fazia-se através de lancha, desde a estação de hidros até a ponte de desembarque do Galeão, de onde os passageiros seguiam até a aeronave em ônibus, pois não existia uma estação de passageiros.

A recepção continuou precária até 1 de Fevereiro de 1952, quando o local para embarque e desembarque transferiu-se para o outro lado da base, onde hoje funcionam escritórios de companhias cargueiras. Esse terminal, com diversas ampliações ao longo dos anos, foi substituído pelo atual Terminal Número 1, que agregou o que de mais atual havia na época de sua inauguração, em 20 de janeiro de 1977.

Como reflexo do impetuoso crescimento da aviação comercial do Brasil em 1992, com vistas a grande afluência prevista na ECO 92, foram reformadas todas as instalações do Terminal 1. Essa ampliação, que aumentou a capacidade desse terminal

para sete milhões de passageiros ao ano, coincidiu com o início das obras do Terminal 2. Esse novo terminal, um dos mais modernos da América Latina, com capacidade de atender oito milhões de passageiros ao ano, foi inaugurado em 20 de julho de 1999, mais que duplicando a capacidade do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro.

Em 29 de agosto de 2004, foram transferidos todos os voos, com exceção da Ponte aérea Rio-São Paulo e voos regionais, do Aeroporto Santos-Dumont para o Galeão, objetivando proporcionar maior conforto aos passageiros. O Santos-Dumont, com capacidade para 2 milhões de passageiros/ano, atendia a aproximadamente 5,3 milhões, sendo que o Galeão, possuindo uma capacidade de até 15 milhões, atendia a uma demanda de apenas 5 milhões de passageiros/ano.

Foi lançado no dia 20/12/2012 o "Programa de Investimentos em Logística: Aeroportos", um conjunto de medidas para melhorar a qualidade dos serviços e da infraestrutura aeroportuária e ampliar a oferta de transporte aéreo à população brasileira.

Um dos principais eventos que motivou esse trabalho foi a concessão/privatização do aeroporto do Galeão (RJ). A concessão tem como objetivo ampliar e aperfeiçoar a infraestrutura aeroportuária brasileira, promovendo melhorias no atendimento e nos níveis de qualidade dos serviços prestados aos usuários do transporte aéreo no Brasil. Como já ocorreu no processo de concessão dos aeroportos de Guarulhos, Viracopos e Brasília, a Infraero será acionista das concessionárias dos contratos. Os aeroportos concedidos serão fiscalizados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), que também é gestora dos contratos. O leilão deverá ocorrer no segundo semestre de 2013.

O processo de concessão passará pelos seguintes estágios: estudos de viabilidade, submissão dos estudos preliminares técnicos, econômicos e ambientais ao Tribunal de Contas da União (TCU), elaboração do edital, consulta e audiência pública, realização do leilão e assinatura.

Com isso, ele estará capacitando-se para atender ao público dos eventos esportivos que virão na Copa de 2014 e nas Olimpíadas de 2016. Com a conclusão das obras, o aeroporto passará a ter capacidade para processar 44 milhões de passageiros por ano.

9.2. Informações Técnicas do Aeroporto

- **Códigos Aeroportuários:**

IATA: GIG

ICAO: SBGL

- **Localização:**

Está localizado na Cidade do Rio de Janeiro, mais especificamente na Ilha do Governador. Está à 9m (3ft) de altitude. Suas coordenadas são:

Latitude 22°48'34" S

Longitude 43°15'0" W

- **Movimento:**

Possui dois terminais de passageiros (TPS1 e TPS2), com capacidade para sete milhões e oito milhões de passageiros, respectivamente, totalizando 171 balcões de check-in, 24 horas por dia em operação. Possui uma capacidade anual de 17.400.000 de passageiros. O plano diretor do aeroporto prevê a construção de mais dois terminais de passageiros (TPS3 e TPS4).

Movimento em 2012	
Passageiros	17.491.744
Ton. de Carga	118.752.361
Aeronaves	154.318

Tabela 8 – Movimentação do aeroporto

- **Estrutura das Pistas:**

O Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro-Galeão possui o maior sítio aeroportuário e a segunda maior pista de pouso e decolagem do Brasil. No plano Diretor também está planejada a construção de uma nova pista paralela à atual 10/28, porém de menor comprimento.

Cabeceiras	Dimensões	Superfície
10/28	4000m x 45m	Concreto
15/33	3180m x 47m	Asfalto

Tabela 9 – Dimensionamento das pistas

As duas pistas para pouso e decolagens estão construídas em ângulo de 45 graus. A pista 10/28 está habilitada a receber pouso até do gigante Airbus A380, além de um eventual pouso de ônibus espacial.

Normalmente, os aviões pousam, pela cabeceira 15 e decolam pela 10. Somente nos dias em que a meteorologia está com bastante nevoeiro o aeroporto passa a operar a cabeceira 10 para pousos, já que este lado conta com ILS Cat II (INSTRUMENT LANDING SYSTEM). Com a chegada de frentes frias, o vento muda e as operações de pousos acontecem na cabeceira 28, enquanto as decolagens são realizadas preferencialmente pela 33.



Figura 22 – Imagem aérea das pistas do SBGL



Figura 23 – Disposição das pistas

9.3.Simulação de Ruído no Entorno do Aeroporto

Para uma análise mais detalhada depois de estudadas as métricas de ruído e como são feitas as simulações no INM versão 7.0b, foram geradas as curvas de Ruído atuando no entorno do aeroporto.

Simulamos as curvas para duas situações, primeiro consideramos 100% dos voos no período para input no software e a segunda situação analisada será com uma carga de 130% do número de voos, isso foi feito para podermos quantificar o aumento de impacto com uma sobrecarga de 30% no número de voos (podendo ser uma imagem futura do aeroporto).

9.3.1. Utilização Atual – 1ºCaso

Seguem abaixo as imagens plotadas das curvas de ruído do Aeroporto nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN (essas duas últimas métricas são compatíveis com a NBR 10151.) sobrepostas com a imagem retirada do software de imagens aéreas SIGMA- Infraero (Sistema de informações geográficas especializado).



Figura 24-DNL-60-85 [dB]

DNL		60 dB(A)
		65 dB(A)
		70 dB(A)
		75 dB(A)



Figura 25-LAeqD-55-75 [dB]

LAeqD		75 dB(A)
		70 dB(A)
		65 dB(A)
		60 dB(A)
		55 dB(A)



Figura 26-LAeqN-50-70 [dB]

LAeqN		70 dB(A)
		65 dB(A)
		60 dB(A)
		55 dB(A)
		50 dB(A)

Cada curva envolve uma zona onde determinado nível de ruído é captado. Conseguimos ver nas imagens curvas entre o intervalo de 50 dB (A), e a de 85 dB (A), a qual envolve as pistas do aeroporto.

Poderíamos ter feito os estudos com a curva mais externa sendo a de 65 dB (A), situação essa mais crítica, porém preferimos utilizar a região envolvida por valores menores devido à proximidade ao aeroporto, pois poderia ser gerado incômodo na população, agindo de forma conservadora.

9.3.2. Utilização Prevista – 2º Caso: Extrapolando em 30 %

As curvas abaixo estão simuladas com os mesmos dados do caso anterior, porém a quantidade de voos foi multiplicada pelo fator de 1.3. Prevendo possíveis aumentos nos pousos e decolagens consideraram-se 30% a mais dos movimentos atuais.

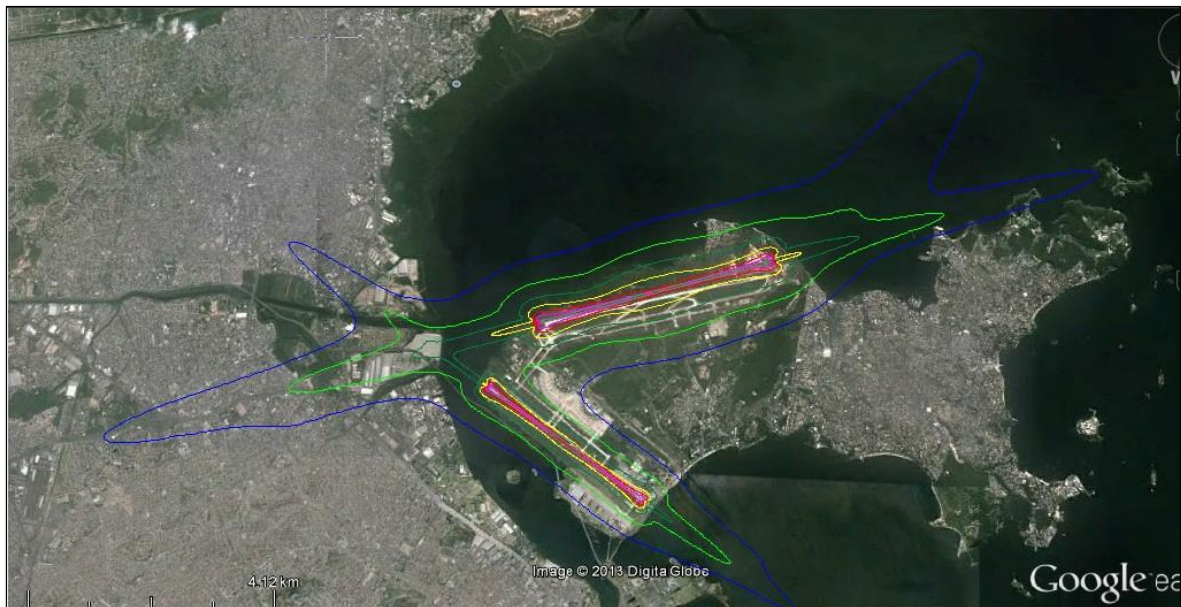


Figura 27 –DNL 60 – 85 (130%)[dB]

DNL		60 dB(A)
		65 dB(A)
		70 dB(A)
		75 dB(A)
		80 dB(A)

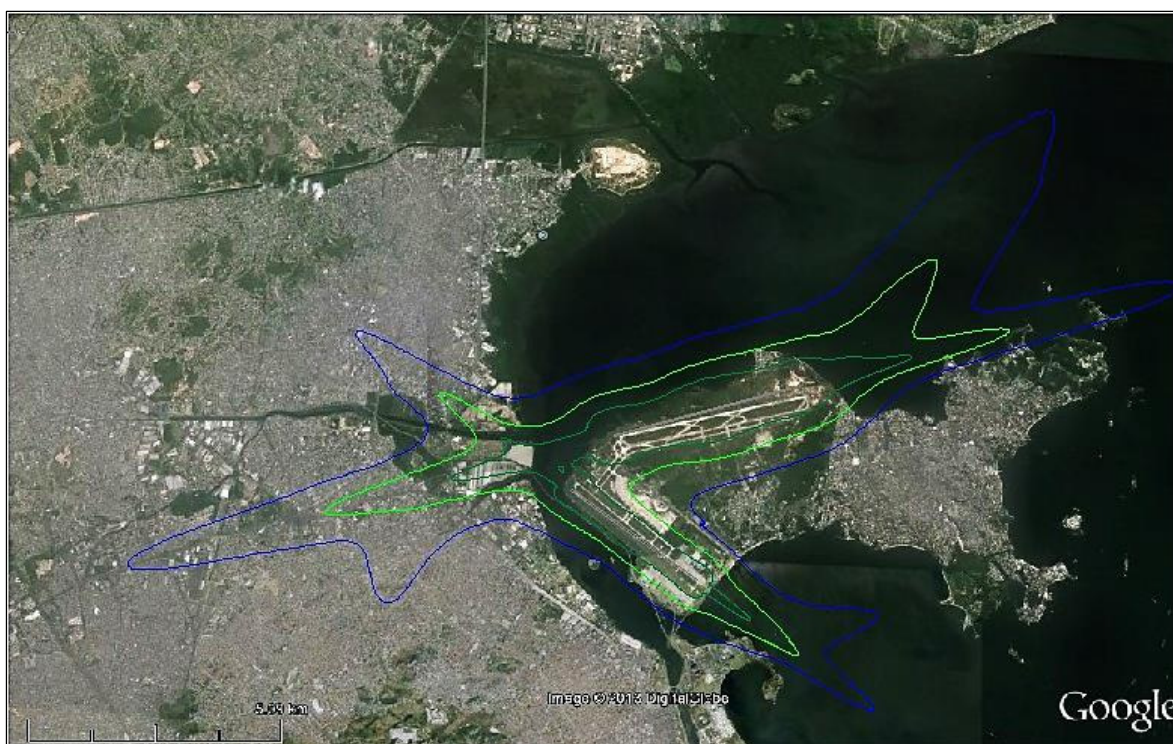


Figura 28 – LAeqN-50-60 (130%)[dB]

LAeqD		50 dB(A)
		55 dB(A)
		60 dB(A)

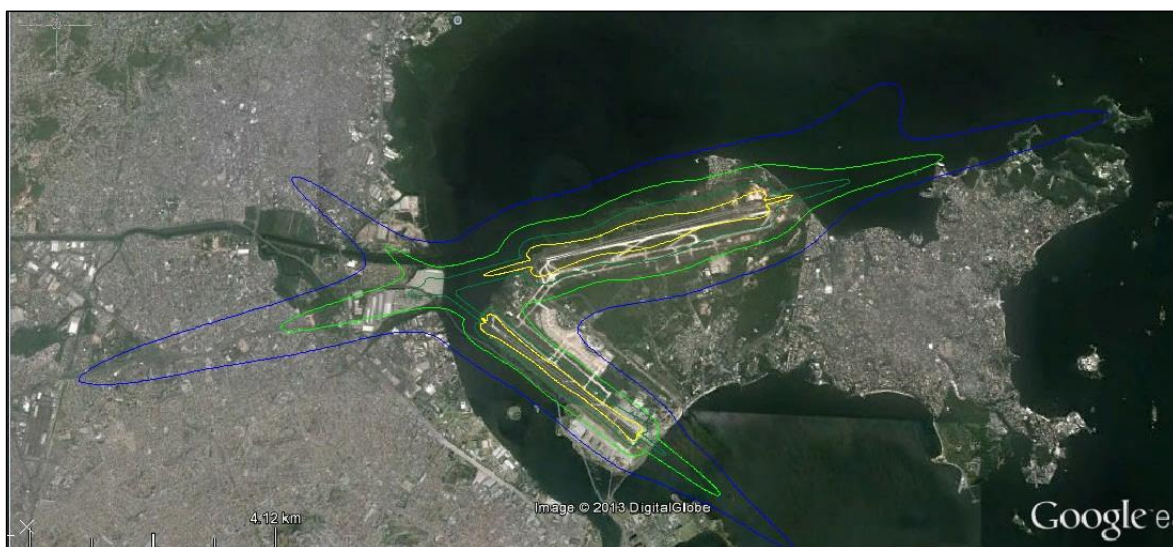


Figura 29 – LAeqD-55-70 (130%)[dB]

LAeqN		55 dB(A)
		60 dB(A)
		65 dB(A)
		70 dB(A)

Cada curva envolve uma zona onde determinado nível de ruído é captado. Conseguimos ver nas imagens curvas entre o intervalo de 50 dB (A), e a de 80 dB (A), a qual envolve as pistas do aeroporto.

Conseguimos observar que houve um aumento sensível nas curvas causando uma expansão da área de influência do ruído. Por vias de cálculos o aumento médio em dB será de 1 dB em cada receptor crítico.

Utilizando essas curvas, no próximo capítulo serão analisados locais (Escolas, Creches e Universidades) dispostos internamente a estas regiões para podermos avaliar os impactos sonoros que o ruído aeroportuário causa nas comunidades vizinhas.

10. AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO EM PONTOS CRÍTICOS ESCOLHIDOS

10.1. Pontos de Análise

A seguir serão apresentados alguns receptores críticos que se encontram no interior das curvas de ruído. O foco principal foram Centros de Ensino em geral (pré-escola, ensino fundamental, médio, cursos preparatórios e Universidades). Veja lista abaixo com as latitudes e longitudes capturadas.

Centros de Ensino			
Número	Nome	Latitude (°)	Longitude (°)
1	Escola Municipal Comandante Guilherme Fisher Presser	-22,764912	-43,206499
2	Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro	-22,782620	-43,177099
3	Creche Comunitária Alegria da Criança	-22,782144	-43,174272
4	Escola Municipal Maestro Francisco Braga	-22,794200	-43,174299
5	Escola Estadual Gurgel do Amaral	-22,791075	-43,169665
6	Creche Municipal Cora Coralina	-22,781766	-43,151379
7	SENAC 1	-22,785404	-43,160000
8	Colégio CEIG	-22,785545	-43,158288
9	Escola Municipal Leonel Azevedo	-22,788696	-43,159090
10	Centro Educacional Governador	-22,786462	-43,154015
11	Escola Municipal Belmiro Medeiros	-22,788431	-43,154197
12	Creche Municipal Professora Maria Arminda F. S. Aguiar	-22,769203	-43,135230
13	CIEP João Mangabeira	-22,770742	-43,126968
14	Gente Miúda Educação Infantil	-22,770651	-43,124603
15	Creche Escola Sun Flower	-22,772738	-43,122452
16	Escola Municipal Dunshee de Abranches	-22,773978	-43,125046
17	Centro Educacional Magia do Saber	-22,775812	-43,126839
18	Escola Municipal Jornalista Orlando Dantas	-22,775827	-43,123940
19	Centro Educacional Piaget	-22,776502	-43,127655
20	Jardim Escola Arco Iris	-22,777739	-43,126393
21	Centro Educacional Sonho meu Ilha do Governador	-22,776781	-43,125038
22	Escola Municipal Sun Yat Sem	-22,777961	-43,124541
23	Escola Municipal Laurentina Cardoso Duarte	-22,775318	-43,327788
24	Escola Estadual Dulce Petris	-22,772962	-43,324663
25	Escola Municipal Casa da Criança	-22,814445	-43,334849
26	CIEP Mestre Cartola	-22,815382	-43,333668
27	Jardim Escola Benedict	-22,808355	-43,349969
28	Escola Municipal Cardeal Câmara	-22,818641	-43,350664
29	Escola Municipal Heitor Beltrao	-22,818747	-43,355623
30	Creche Municipal Estrelinha Dourada	-22,814502	-43,356282
31	Centro Educacional Criança Peralta	-22,810309	-43,359818
32	Escola Municipal Ministro Lafayette Andrade	-22,819842	-43,355926

Centros de Ensino			
Número	Nome	Latitude (°)	Longitude (°)
33	Creche Municipal Luís Carlos de Oliveira Câmara	-22,820706	-43,355257
34	Escola Municipal Joseph Bloch	-22,822479	-43,348951
35	Escola Santa Marta Jardim	-22,820904	-43,375280
36	Escola Soldadinho de Cristo	-22,818553	-43,376479
37	Colégio Santa Marta	-22,815568	-43,373695
38	Centro Educacional Brasil Portugal	-22,819003	-43,374340

Tabela 10 – Latitudes e longitudes dos receptores críticos



Figura 30 – Localização dos Receptores Críticos

Vale lembrar que as coordenadas foram retiradas do Software SIGMA da Infraero, pois foram realizadas simulações com as coordenadas fornecidas pelo Google Earth, porém quando os pontos eram plotados no INM esses caíam em locais diferentes do real. Para solucionar esse problema foram feitas medidas de campo com um GPS 60/Garmin e anotados os valores para comparação com os softwares.

A conclusão foi que as coordenadas obtidas pelo SIGMA nos pontos de campo eram bem mais próximas da realidade quando comparadas com as obtidas no Google Earth. Por esse motivo utilizamos as coordenadas do SIGMA.

10.2. Níveis de Ruídos nos Receptores Localizados – 1º Caso

Podemos ver na tabela abaixo os valores em dB para cada ponto escolhido com a quantidade de 100% dos voos.

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
1	Escola Municipal Comandante Guilherme Fisher Presser	60.9	56.0	54.2
2	Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro	64.7	59.4	58.0
3	Creche Comunitária Alegria da Criança	63.6	58.3	56.9
4	Escola Municipal Maestro Francisco Braga	57.3	52.3	50.6
5	Escola Estadual Gurgel do Amaral	57.5	52.5	50.8
6	Creche Municipal Cora Coralina	54.9	49.8	48.2
7	SENAC 1	56.6	51.5	49.9
8	Colégio CEIG	56.0	50.9	49.3
9	Escola Municipal Leonel Azevedo	55.1	50.1	48.4
10	Centro Educacional Governador	54.3	49.3	47.6
11	Escola Municipal Belmiro Medeiros	53.7	48.8	47.0
12	Creche Municipal Professora Maria Arminda F. S. Aguiar	58.6	54.3	51.8
13	CIEP João Mangabeira	54.7	50.3	47.9
14	Gente Miúda Educação Infantil	54.2	49.8	47.4
15	Creche Escola Sun Flower	52.2	47.7	45.4
16	Escola Municipal Dunshee de Abranches	52.0	47.4	45.2
17	Centro Educacional Magia do Saber	51.4	46.7	44.6
18	Escola Municipal Jornalista Orlando Dantas	50.8	46.1	44.0
19	Centro Educacional Piaget	51.2	46.5	44.5
20	Jardim Escola Arco Iris	50.4	45.7	43.6
21	Centro Educacional Sonho meu Ilha do Governador	50.6	45.9	43.8
22	Escola Municipal Sun Yat Sem	50.0	45.2	43.2
23	Escola Municipal Laurentina Cardoso Duarte	59.6	54.8	52.8
24	Escola Estadual Dulce Petris	56.7	51.6	50.0
25	Escola Municipal Casa da Criança	63.9	59.4	57.1
26	CIEP Mestre Cartola	63.5	58.9	56.7
27	Jardim Escola Benedict	57.8	53.3	51.0
28	Escola Municipal Cardeal Câmara	62.2	57.9	55.3
29	Escola Municipal Heitor Beltrao	62.0	57.7	55.0
30	Creche Municipal Estrelinha Dourada	60.8	56.6	53.9
31	Centro Educacional Criança Peralta	57.1	52.7	50.3
32	Escola Municipal Ministro Lafayette Andrade	59.7	54.2	53.1
33	Creche Municipal Luís Carlos de Oliveira Câmara	59.2	53.6	52.6
34	Escola Municipal Joseph Bloch	59.9	55.3	53.1
35	Escola Santa Marta Jardim	60.2	56.0	53.2
36	Escola Soldadinho de Cristo	59.1	54.9	52.2

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
37	Colégio Santa Marta	57.8	53.6	51.0
38	Centro Educacional Brasil Portugal	59.7	55.5	52.7

Tabela 11 – Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB

10.3. Níveis de Ruídos nos Receptores Localizados – 2º Caso: Extrapolando em 30%

Podemos ver na tabela os valores em dB para cada ponto escolhido com a quantidade de 130% dos voos.

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
1	Escola Municipal Comandante Guilherme Fisher Presser	62.1	57.2	55.3
2	Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro	65.8	60.6	59.2
3	Creche Comunitária Alegria da Criança	64.7	59.5	58.1
4	Escola Municipal Maestro Francisco Braga	58.5	53.5	51.8
5	Escola Estadual Gurgel do Amaral	58.6	53.6	51.9
6	Creche Municipal Cora Coralina	56.0	50.9	49.4
7	SENAC 1	57.7	52.7	51.0
8	Colégio CEIG	57.1	52.1	50.4
9	Escola Municipal Leonel Azevedo	56.3	51.3	49.6
10	Centro Educacional Governador	55.4	50.4	48.7
11	Escola Municipal Belmiro Medeiros	54.9	49.9	48.2
12	Creche Municipal Professora Maria Arminda F. S. Aguiar	59.8	55.5	52.9
13	CIEP João Mangabeira	55.9	51.5	49.0
14	Gente Miúda Educação Infantil	55.4	51.0	48.5
15	Creche Escola Sun Flower	53.4	48.9	46.5
16	Escola Municipal Dunshee de Abranches	53.2	48.6	46.4
17	Centro Educacional Magia do Saber	52.5	47.9	45.8
18	Escola Municipal Jornalista Orlando Dantas	51.9	47.3	45.2
19	Centro Educacional Piaget	52.4	47.6	45.6
20	Jardim Escola Arco Iris	51.5	46.8	44.8
21	Centro Educacional Sonho meu Ilha do Governador	51.7	47.0	44.9
22	Escola Municipal Sun Yat Sem	51.1	46.4	44.3
23	Escola Municipal Laurentina Cardoso Duarte	60.7	56.0	54.0
24	Escola Estadual Dulce Petris	57.8	52.8	51.1
25	Escola Municipal Casa da Criança	65.1	60.5	58.2
26	CIEP Mestre Cartola	64.6	60.0	57.8
27	Jardim Escola Benedict	58.9	54.5	52.1
28	Escola Municipal Cardeal Câmara	63.3	59.1	56.4
29	Escola Municipal Heitor Beltrao	63.1	58.9	56.2

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
30	Creche Municipal Estrelinha Dourada	62.0	57.7	55.0
31	Centro Educacional Criança Peralta	58.3	53.8	51.4
32	Escola Municipal Ministro Lafayette Andrade	60.8	55.3	54.2
33	Creche Municipal Luís Carlos de Oliveira Câmara	60.3	54.8	53.8
34	Escola Municipal Joseph Bloch	61.0	56.4	54.2
35	Escola Santa Marta Jardim	61.3	57.1	54.4
36	Escola Soldadinho de Cristo	60.2	56.0	53.3
37	Colégio Santa Marta	59.0	54.7	52.1
38	Centro Educacional Brasil Portugal	60.8	56.6	53.9

Tabela 12 - Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB (130%)

11. ESTUDO DOS RECEPTORES CRÍTICOS

Através dos níveis de ruído obtidos, conseguimos verificar os pontos que sofrem mais com os incômodos. Entretanto, por diversas vezes se torna necessário uma análise que leve em conta a divisão dos voos durante as horas do dia. Foram selecionadas três escolas aleatórias para serem avaliadas individualmente com esta divisão.

Antes disso serão apresentadas duas correções necessárias para serem feitas antes nos valores encontrados nos itens anteriores, a fim de padronizar nossa análise.

11.1. Adequação do Receptor Crítico com relação ao Ruído Aeroportuário

Uma vez que queremos ser o mais fiel possível em nossos resultados, tornam-se necessárias algumas correções nos valores obtidos no INM. Porque como o software considera os ruídos externos, o nível de ruído é mais alto do que aquele que realmente ocorre nos ambientes internos e também precisamos levar em conta os horários de pico dos voos, pois o INM fornece um valor médio da energia no período de interesse (diurno ou noturno).

11.1.1. Correção de Ambiente Externo para Interno

Com o objetivo de utilizarmos a norma NBR 10152, que é específica para ambientes internos, precisamos retirar um valor de dB para cada valor obtido nas três métricas que foram estudadas no INM, pois como foi dito anteriormente o software considera ambiente externo e não interno, segundo a NBR 10151. Logo vamos retirar 10 dB(A) para ambientes com as janelas abertas e 15 dB(A) para ambientes com as janelas fechadas. No nosso caso reduziremos 10 dB(A) apenas, com a justificativa de que os centros de ensino da região realizam suas atividades em sua maioria de janelas abertas contando com a barreira apenas das estruturas do prédio.

Abaixo seguem os resultados corrigidos, lembrando apenas que estamos realizando esta parte do estudo apenas *para o 1º Caso (100% dos voos)*:

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
1	Escola Municipal Comandante Guilherme Fisher Presser	50,9	46,0	44,2
2	Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro	54,7	49,4	48,0

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
3	Creche Comunitária Alegria da Criança	53,6	48,3	46,9
4	Escola Municipal Maestro Francisco Braga	47,3	42,3	40,6
5	Escola Estadual Gurgel do Amaral	47,5	42,5	40,8
6	Creche Municipal Cora Coralina	44,9	39,8	38,2
7	SENAC 1	46,6	41,5	39,9
8	Colégio CEIG	46,0	40,9	39,3
9	Escola Municipal Leonel Azevedo	45,1	40,1	38,4
10	Centro Educacional Governador	44,3	39,3	37,6
11	Escola Municipal Belmiro Medeiros	43,7	38,8	37,0
12	Creche Municipal Professora Maria Arminda F. S. Aguiar	48,6	44,3	41,8
13	CIEP João Mangabeira	44,7	40,3	37,9
14	Gente Miúda Educação Infantil	44,2	39,8	37,4
15	Creche Escola Sun Flower	42,2	37,7	35,4
16	Escola Municipal Dunshee de Abranches	42,0	37,4	35,2
17	Centro Educacional Magia do Saber	41,4	36,7	34,6
18	Escola Municipal Jornalista Orlando Dantas	40,8	36,1	34,0
19	Centro Educacional Piaget	41,2	36,5	34,5
20	Jardim Escola Arco Iris	40,4	35,7	33,6
21	Centro Educacional Sonho meu Ilha do Governador	40,6	35,9	33,8
22	Escola Municipal Sun Yat Sem	40,0	35,2	33,2
23	Escola Municipal Laurentina Cardoso Duarte	49,6	44,8	42,8
24	Escola Estadual Dulce Petris	46,7	41,6	40,0
25	Escola Municipal Casa da Criança	53,9	49,4	47,1
26	CIEP Mestre Cartola	53,5	48,9	46,7
27	Jardim Escola Benedict	47,8	43,3	41,0
28	Escola Municipal Cardeal Câmara	52,2	47,9	45,3
29	Escola Municipal Heitor Beltrao	52,0	47,7	45,0

Centros de Ensino				
Número	Nome	Ruído dB (A) DNL	Ruído dB (A) LaeqD	Ruído dB (A) LaeqN
30	Creche Municipal Estrelinha Dourada	50,8	46,6	43,9
31	Centro Educacional Criança Peralta	47,1	42,7	40,3
32	Escola Municipal Ministro Lafayete Andrade	49,7	44,2	43,1
33	Creche Municipal Luís Carlos de Oliveira Câmara	49,2	43,6	42,6
34	Escola Municipal Joseph Bloch	49,9	45,3	43,1
35	Escola Santa Marta Jardim	50,2	46,0	43,2
36	Escola Soldadinho de Cristo	49,1	44,9	42,2
37	Colégio Santa Marta	47,8	43,6	41,0
38	Centro Educacional Brasil Portugal	49,7	45,5	42,7

Tabela 13 - Valores dos ruídos por período e total nos receptores críticos em dB corrigidos para ambiente interno de acordo com a NBR 10152

11.1.2. Horários de Pico

Uma análise mais detalhada é feita quando repartirmos os voos por horários e geramos 24 curvas (hora a hora), com a função de identificar os horários de maior pico durante o dia.

As curvas são em função da métrica LAeqD, pois o período diurno seria o período de maiores impactos em nossos receptores. Porém usaremos uma adaptação da métrica, chamaremos de LAeqD1h.

Vamos utilizar a teoria de NES (Nível de Exposição Sonora) simplificando a teoria chegamos ao seguinte conjunto de equações. Para mais detalhes ver ANEXO I.

$$LAeqD = NES - 10 \log(3600 \times 15)$$

$$LAeqD, 1h = NES - 10 \log(3600)$$

$$LAeqD, 1h = LAeqD + 10 \log(15)$$

No próximo tópico abordaremos exemplos aplicados.

11.2. Conformidade dos Receptores Críticos com relação ao uso

Considerando os níveis de ruído interno calculados no item anterior, será feita uma análise de conforto e aceitabilidade sonora para os pontos em questão com base nas normas já mencionadas no Capítulo 6 desse trabalho.

I. 1º Instituição: Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro

a) Período Diurno

No período diurno, que compreende de 7:00 até às 22:00 horas, o nível sonoro estabelecido pela norma NBR 10152 para instituições de ensino em ambiente Interno, pela Tabela 4, deve ficar abaixo de 35 dB em bibliotecas, salas de música e de desenho para conforto acústico e 40 dB para salas de aula e laboratórios.

Analizando os níveis de ruídos diurnos de uma em uma hora e comparando com a norma, podemos observar que, durante todo o período considerado, os níveis de ruído situam-se entre 47 e 55 dB, ultrapassando o nível de conforto estabelecido tanto para as bibliotecas quanto para as salas de aula em todos os horários.

Para os níveis de aceitabilidade acústica, a norma prevê 45 dB para bibliotecas e 50 dB para salas de aula e laboratórios, considerando que a biblioteca é uma parte minoritária, serão avaliados apenas os níveis para salas de aula. Com isso temos que os níveis de ruído ultrapassam os estabelecidos pela norma durante algumas horas do período diurno.

Considerando os níveis de aceitabilidade, nos momentos de maiores níveis de ruídos (8:00h e 20:00h), o nível ultrapassa em 5 dB do valor pré-estabelecido para salas de aula. Se voltarmos na figura 12, conseguimos ver que este nível que ultrapassa a aceitabilidade ainda se encontra na categoria “Pouca”, que indica apenas queixas esporádicas quanto ao incômodo.

Creche			
Hora	Laeq [dB(A)]	Hora	Laeq [dB(A)]
7:00	50,7	15:00	47,1
8:00	52,8	16:00	49,0
9:00	52,0	17:00	47,5
10:00	50,5	18:00	48,4
11:00	50,2	19:00	47,0
12:00	47,6	20:00	55,2
13:00	48,0	21:00	50,0
14:00	48,6		

Tabela 14 - Níveis de ruídos diurnos que ultrapassam os valores estabelecidos na norma.

b) Período Noturno

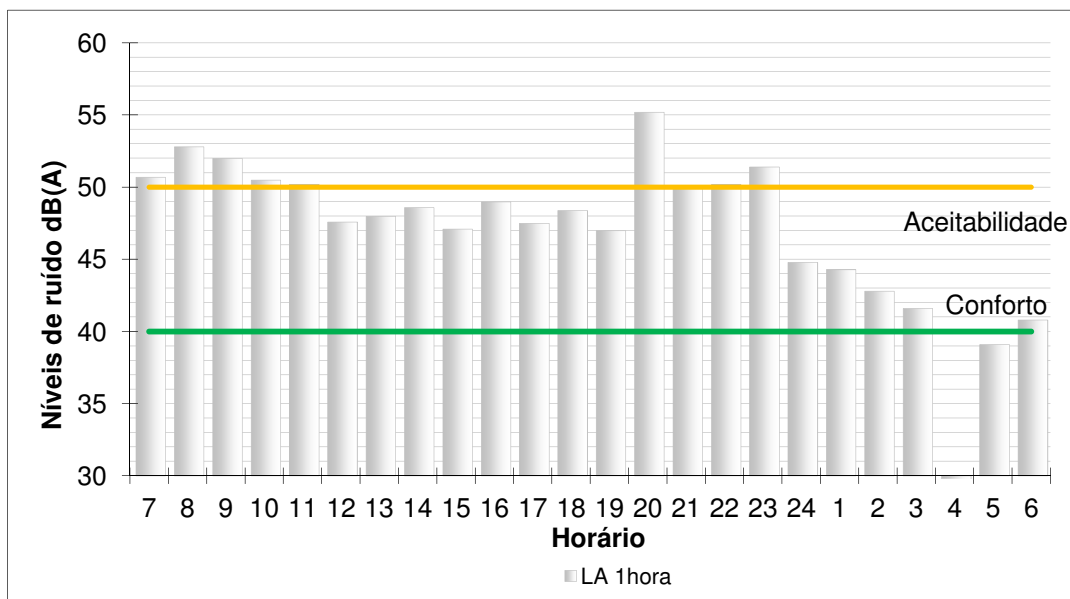
No período noturno, que compreende das 22:00 às 7:00 horas, a Creche não tem registro de atividades em andamento, portanto pode-se concluir que mesmo que o ruído ultrapasse o nível estabelecido pela norma não causaria incomodo a ninguém. Porém, como podem ocorrer exceções, os níveis noturnos também serão avaliados.

Podemos observar que no período noturno registramos valores altos de ruído. Porém, como esse é um horário no qual a creche normalmente não funciona não seria necessário um isolamento acústico além daquele previsto para o período diurno.

Creche	
Hora	Laeq [dB(A)]
22:00	50,2
23:00	51,4
00:00	44,8
1:00	44,3
2:00	42,8
3:00	41,6
4:00	-
5:00	39,1
6:00	40,8

Tabela 15 – Níveis de ruídos noturno

O Gráfico mostra o comportamento do nível de ruído nesse ponto ao longo das 24h simuladas.



II. 2ª Instituição: Escola Creche Comunitária Alegria da Criança

A mesma análise realizada para a creche anterior será repetida para esta, segue abaixo os resultados obtidos na análise.

Analisando os níveis de ruídos diurnos de uma em uma hora e comparando com a norma NBR 10152, podemos observar que, durante todo o período considerado, os níveis de ruído situam-se entre 45 e 52 dB, ultrapassando o nível de conforto estabelecido tanto para as bibliotecas quanto para as salas de aula.

Para os níveis de aceitabilidade acústica, para salas de aula e laboratórios, temos que os níveis de ruído ultrapassam os estabelecidos pela norma durante apenas uma hora do período diurno. Considerando os níveis de aceitabilidade, no momento de maior nível de ruído (7:00 horas), o nível ultrapassa em 1,6 dB do valor pré-estabelecido para salas de aula.

Creche			
Hora	Laeq [dB(A)]	Hora	Laeq [dB(A)]
7:00	51,6	15:00	46,1
8:00	47,4	16:00	45,0
9:00	50,0	17:00	45,2
10:00	46,7	18:00	45,0
11:00	46,2	19:00	46,7
12:00	45,8	20:00	47,8
13:00	45,1	21:00	47,4
14:00	46,3		

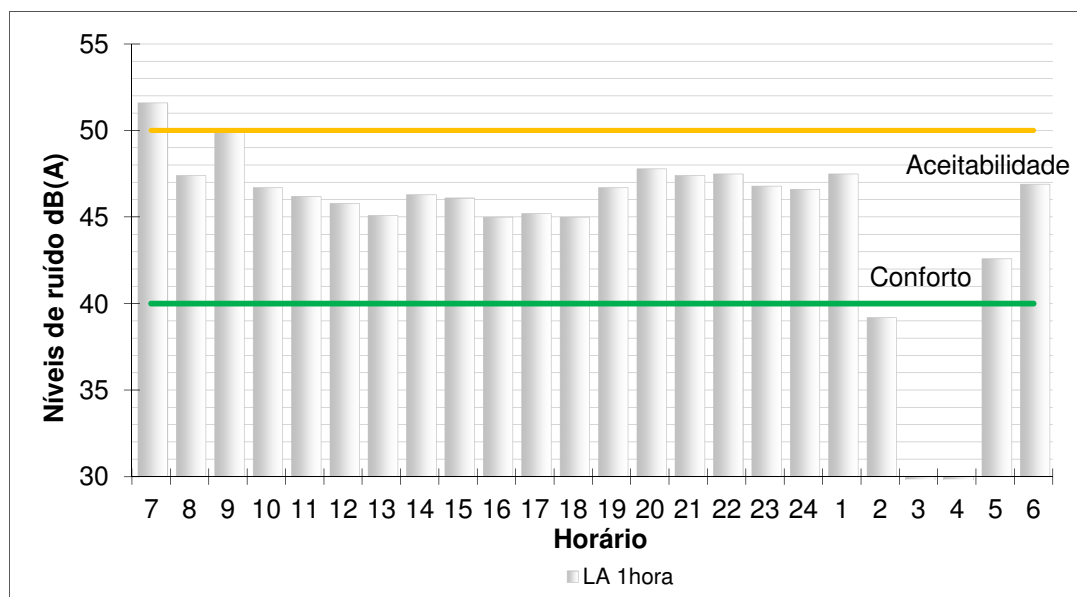
Tabela 16- - Níveis de ruídos diurnos que ultrapassam os valores estabelecidos na norma.

Creche	
Hora	Laeq [dB(A)]
22:00	47,5
23:00	46,8
00:00	46,6
1:00	47,5
2:00	39,2
3:00	24,5
4:00	-
5:00	42,6
6:00	46,9

Tabela 17 - Níveis de ruídos noturno

Podemos observar que no período noturno em nenhum horário o valor dos níveis de ruído ultrapassam ao valor da aceitabilidade estabelecido pela norma.

O Gráfico mostra o comportamento do nível de ruído nesse ponto ao longo das 24h simuladas.



III. 3º Instituição: Escola Municipal Ministro Lafayete Andrade

Repetindo novamente o estudo para a E.M obtemos os resultados abaixo:

Analisando os níveis de ruídos diurnos de uma em uma hora e comparando com a norma NBR 10152, podemos observar que, durante todo o período considerado, os níveis de ruído situam-se entre 42 e 50 dB, ultrapassando o nível de conforto estabelecido tanto para as bibliotecas quanto para as salas de aula.

Para os níveis de aceitabilidade acústica, para salas de aula e laboratórios, temos que os níveis de ruído não ultrapassam os estabelecidos pela norma durante todo o período diurno.

E.M			
Hora	Laeq [dB(A)]	Hora	Laeq [dB(A)]
7:00	49,9	15:00	43,3
8:00	45,7	16:00	42,0
9:00	48,0	17:00	43,5
10:00	43,6	18:00	45,1
11:00	44,6	19:00	45,4
12:00	43,3	20:00	45,9
13:00	42,3	21:00	46,2
14:00	44,7		

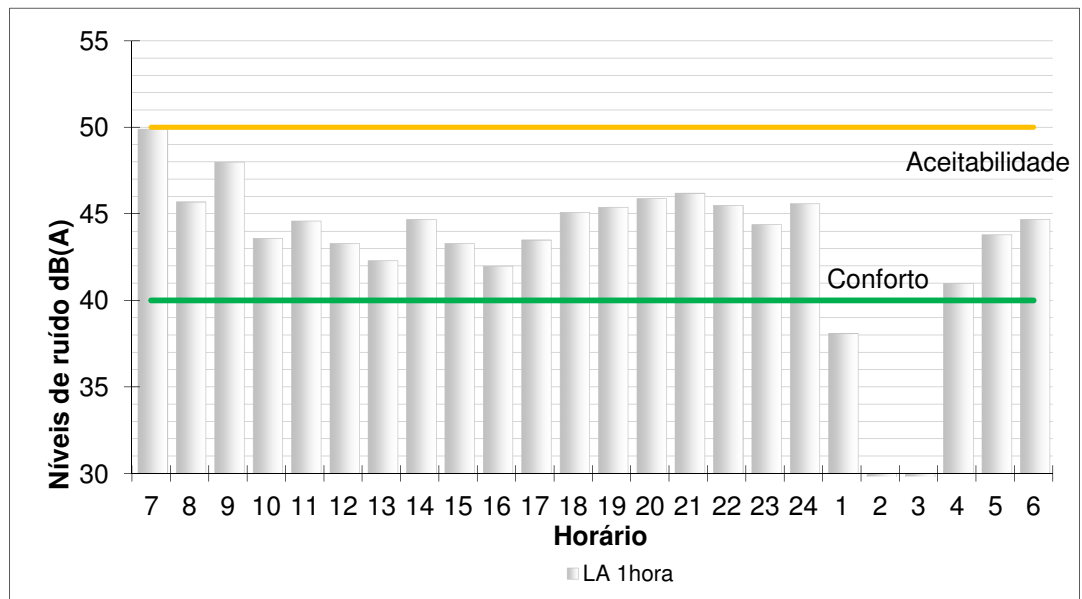
Tabela 18 - Níveis de ruídos diurnos

E.M	
Hora	Laeq [dB(A)]
22:00	45,5
23:00	44,4
00:00	45,6
1:00	38,1
2:00	23,9
3:00	-
4:00	41,0
5:00	43,8
6:00	44,7

Tabela 19 - Níveis de ruídos noturno

Podemos observar que no período noturno em nenhum horário o valor dos níveis de ruído ultrapassam ao valor da aceitabilidade estabelecido pela norma.

O Gráfico mostra o comportamento do nível de ruído nesse ponto ao longo das 24h simuladas.



12. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como contribuição a determinação das curvas de ruído do Aeroporto Internacional Tom Jobim; o levantamento de receptores críticos e os cálculos dos níveis de ruído, com diferentes métricas, nos receptores selecionados. Foram usadas quatro diferentes métricas para a análise dos níveis: LAeq,1h, LAeqD, LAeqN e DNL. Percebeu-se através dos mapas que os locais com maiores níveis ficam próximos as cabeceiras das pistas do aeroporto. Todos os valores foram seguindo as normas técnicas.

Com relação ao aeroporto e seu entorno ao longo do trabalho foi verificado, que não há uma necessidade extrema de preocupação com as escolas ao seu redor. Porém, propomos um isolamento acústico de aproximadamente 5 dB(A) na Creche Municipal Doutor Antônio Monteiro, que teve seus níveis acima da aceitabilidade em diversos horários no dia. Para casos mais expressivos que esse um acordo entre a prefeitura e o Aeroporto do Galeão poderá ser feito para decidir quem será o responsável pela implantação de janelas acústicas. Lembramos que a prefeitura é uma das responsáveis pela ocupação no entorno do aeroporto.

Para os demais pontos estudados, devem ser feitos acompanhamentos anuais dos níveis de ruído, pois os valores estão muito próximos à aceitabilidade. Qualquer aumento do número de pousos e decolagens pode aumentar os níveis e comprometer a saúde das pessoas envolvidas nestes locais. Como vimos rapidamente quando fizemos a análise do ruído com uma contingência de 30%.

Para conseguir a atenuação do ruído deve se adotar a Abordagem Equilibrada. Ela prevê diversas mudanças tais como redução na fonte de ruídos gerados por aeronaves, procedimentos operacionais de redução de ruído, restrições de operação e medidas de ordenamento. Obviamente tais elementos implicam consideráveis aumentos de custo para as companhias aéreas tornando alguns procedimentos inviáveis economicamente.

Este trabalho deve ser considerado como um impulso inicial para outros pesquisadores interessados na questão de ruído aeroportuário desenvolverem pesquisas para automatização dos cálculos com o uso de software como o Matlab e a escreverem manuais do método que foi utilizado e mais adiante criar uma forma de divulgação dos resultados pelos meios de comunicação digital, para que as pessoas tomem conhecimento da situação dos aeroportos de suas cidades. O resultado final deste

projeto indica que ele pode ser implementado como modelo para o estudo em outros aeroportos o que seria de grande avanço para o país

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1] ABNT, “*NBR 10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*”, válida a partir de 31/07/2000.
- 2] ABNT, “*NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico*”, válida a partir de Março de 1987.
- 3] AEROPORTO INTERNACIONAL ANTÔNIO CARLOS JOBIM,
<http://www.aerportogaleao.net/>
- 4] ANAC, <http://www.anac.gov.br/>
- 5] ANÔNIMO, “Estudo de Acústica ambiental para Controle de Ruído” - USP
- 6] ANÔNIMO,
http://www.ecolnews.com.br/poluicaosonora/efeitos_contaminantes_do_ruido.htm
- 7] INFRAERO, <http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/2010/Dez.pdf>
- 8] FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Integrated Noise Model*. User’s Guide, Versão 7.0, FAA, 2007.
- 9] TEORIA - Engenharia Acústica, <http://www.acusticateoria.com.br/dicas.asp>
- 10] TRAINAR - Instituto de Aviação Civil, “*Curso sobre Ruído Aeroportuário*”. Módulo 15.
- 11] FAA – Federal Aviation Administration. Disponível em <www.faa.gov/index.cfm>.
- 10] “Balanced Approach to Noise” – Grupo de Estudo em Ruído Aeroportuário
- 11] “Aircraft Noise Evaluation” Method Developed by COPPE.

ANEXO I – Nível de Exposição Sonora e Nível Sonoro Equivalente

I. Exposição Sonora:

A exposição sonora é uma métrica que pode ser utilizada para expressar a carga de ruído sobre um indivíduo ou uma população.

A exposição sonora num ponto determinado x , é calculada sobre um período de observação T de t_1 a t_2 sendo definida como a integral do quadrado da pressão sonora filtrada em A sobre o tempo de observação.

$$ES(x, t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(x, t) dt$$

A unidade de Exposição Sonora é o Pasques (Pascal squared second).

Podemos utilizar as seguintes notações:

- $ES(x, T)$ no caso que sabemos o início e o final do período T considerado.
- $ES(T)$ no caso que sabemos o ponto onde são efetuadas as medições e o início e o final do período T considerado.

Aditividade em relação ao tempo:

Consideramos um período de tempo subdividido em 3 períodos adjacentes, podemos calcular a exposição sonora para o tempo total em função dos períodos parciais.

$$\begin{aligned} ES &= \int_{T_1+T_2+T_3} P_A^2(t) dt \\ &= \int_{T_1} P_A^2(t) dt + \int_{T_2} P_A^2(t) dt + \int_{T_3} P_A^2(t) dt \end{aligned}$$

Assim, a exposição sonora (ES) durante um intervalo de tempo $T_1 + T_2 + T_3$ é:

$$ES(T_1 + T_2 + T_3) = ES(T_1) + ES(T_2) + ES(T_3)$$

Aditividade com relação a grupos de fontes incoerentes:

Considerando dois grupos de fontes incoerentes F_1 e F_2 e suas pressões sonoras representadas em função do tempo e da variável x :

$$F_1 \rightarrow P_{A1}(x, t)$$

$$F_2 \rightarrow P_{A2}(x, t)$$

$$P_A(x, t) = P_{A1}(x, t) + P_{A2}(x, t)$$

$$ES_{Tot} = \int_t^{(t+T)} [P_{AT}(x, t)]^2 dt$$

$$ES_{Total} = \int_t^{(t+T)} [P_{A1}(x, t) + P_{A2}(x, t)]^2 dt \quad 64$$

$$\int_t^{(t+T)} [P_{A_1}(x, t) + P_{A_2}(x, t)]^2 dt$$

$$= \int_t^{(t+T)} [P_{A_1}^2(x, t)] dt + \int_t^{(t+T)} [P_{A_2}^2(x, t)] dt + 2 \int_t^{(t+T)} [P_{A_1}(x, t) P_{A_2}(x, t)] dt$$

No caso de fontes incoerentes

$$\int_t^{(t+T)} [P_{A_1}(x, t) P_{A_2}(x, t)] dt = 0$$

$$ES_{Total} = \int_t^{(t+T)} [P_{A_1}(x, t) + P_{A_2}(x, t)]^2 dt$$

$$= \int_t^{(t+T)} [P_{A_1}^2(x, t)] dt + \int_t^{(t+T)} [P_{A_2}^2(x, t)] dt$$

$$ES_{Total} = ES_1 + ES_2$$

II. Nível de Exposição Sonora:

Também conhecida com SEL (Sound Exposure Level). Por definição temos:

$$NES = 10 \log_{10} \left[\frac{ES}{p_0^2 \times 1s} \right] = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{p_0^2} \int_t^{(t+T)} p_A^2(t) dt \right]$$

III. Pressão Eficaz:

A pressão eficaz vai permitir de determinar a intensidade média do ruído num ponto determinado sobre um indivíduo. Ela é definida por:

$$p_{rms}^2(M, T_1, T_2) = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} p_A^2(t) dt$$

IV. Relação entre Pressão Eficaz e Exposição Sonora:

$$p_{rms}^2(M, t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} ES(M, t_1, t_2)$$

O cálculo da pressão eficaz sobre curtos períodos é realizado nos sonômetros para representar os níveis de pressão sonoros: Rápido - Fast- $(T_1-T_2)=0,125s$ e Lento - Slow- $(T_1-T_2)=1s$. Neste capítulo consideraremos durações de integração maiores.

V. Nível Sonoro Equivalente:

O nível sonoro equivalente é o nível constante em dB(A) que corresponderia a mesma exposição sonora para o mesmo período de tempo.

O LAeq ou nível sonoro equivalente, largamente utilizado para se avaliar o incômodo causado pelo ruído ferroviário e rodoviário na Europa e no Brasil, foi criado a fim de se descrever apropriadamente o ruído ambiental, exprimindo a média da energia percebida por um indivíduo, em um determinado intervalo de tempo.

Se considerarmos um ruído variável durante um período de tempo T , o L_{eq} representa o nível de ruído constante que terá que ser produzido com a mesma Exposição sonora que o ruído realmente é percebido durante o período considerado.

O nível sonoro equivalente é definido pela formula seguinte:

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{p_{rms}^2(M, t_1, t_2)}{p_0^2}$$

Temos então:

$$\begin{aligned} NES &= 10 \log_{10} \left[\frac{1}{p_0^2} \int_t^{(t+T)} p_A^2(t) dt \right] \\ &= 10 \log_{10} \left[T \frac{1}{T} \int_t^{(t+T)} \frac{p_A^2(t)}{p_o^2} dt \right] \\ &= 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_t^{(t+T)} \frac{p_A^2(t)}{p_o^2} dt \right] + 10 \log_{10} T \end{aligned}$$

Portanto, a relação entre o Nível de Exposição Sonora e o nível sonoro equivalente é dada por:

$$NES = L_A eq + 10 \log_{10} T$$

E conseqüentemente:

$$L_A = NES - 10 \log_{10} T$$

$$L_A eq = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_t^{(t+T)} \frac{p_A^2}{p_o^2}(t) dt \right]$$

$$L_A eq = 10 \log_{10} \left[\frac{p_{A_{rms}}^2}{p_o^2} \right]$$

$$\left[\frac{p_{A_{rms}}^2}{p_o^2} \right] = 10^{\frac{L_A eq}{10}}$$

$$p_{A_{rms}}^2 = p_o^2 \cdot 10^{\frac{L_A eq}{10}}$$

Ponderação da exposição sonora com relação ao período do dia:

Em muitas legislações o período de 24 horas pode ser decomposto em 3 períodos, o diurno, o vespertino e o noturno. A cada um dos períodos será associado uma ponderação, λ_d para o período diurno, λ_v para o período vespertino, λ_n para o período noturno.

A exposição sonora dia noite ESDN é definida por:

$$ESDN = \lambda_d \int_{dia} p_A^2(t) dt + \lambda_v \int_{vesp.} p_A^2(t) dt + \lambda_n \int_{noite} p_A^2(t) dt$$

Por exemplo, no Rio de Janeiro o período vespertino não é muito utilizado, mas existem os períodos diurno (7h às 22h) e noturno (22h a 7 h do dia seguinte) que são mais utilizados. Assim a exposição sonora composta sobre 24 h será definida por:

$$ESDN = \int_{7h}^{22h} p_A^2(t) dt + 10 \int_{22h}^{7h} p_A^2(t) dt$$