

***INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA***



Thiago Pimentel Nykiel

Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos  
Brasileiros

*Trabalho de Graduação*  
2009

***Civil***

Thiago Pimentel Nykiel

# **Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros**

Orientador

Prof. Dr. Maryangela Geimba de Lima (ITA)

Co-orientador

Prof. Dr. Emmanuel Antonio dos Santos (ITA)

**Divisão de Engenharia Civil**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

## **Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

### **Divisão de Informação e Documentação**

Nykiel, Thiago

Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros / Thiago Pimentel Nykiel.

São José dos Campos, 2009.

Número de folhas no formato 53f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil –  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2009. Orientadores: Prof. Dr. Maryangela Geimba de Lima (ITA),  
Prof. Dr. Emmanuel Antonio dos Santos (ITA).

1. Aeroportos. 2. Ruído de Aeronaves. 3. Redução de Ruído. I. Departamento de Ciência e Tecnologia  
Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Análise do Impacto  
do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

NYKIEL, Thiago. **Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros**. 2009. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Thiago Pimentel Nykiel

TÍTULO DO TRABALHO: Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2009

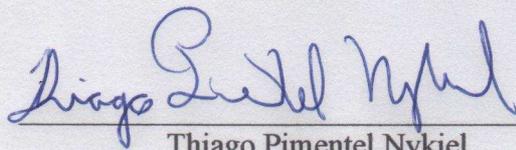
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

---

Thiago Pimentel Nykiel  
H8-A, Apto 131 CTA  
São José dos Campos - SP  
CEP 12.228-460

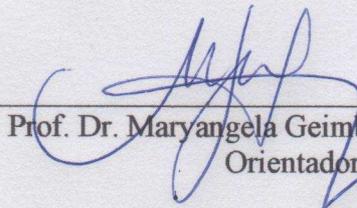
## **Análise de Áreas no Entorno dos Principais Aeroportos Brasileiros**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



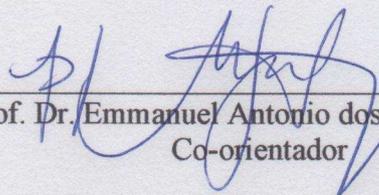
---

Thiago Pimentel Nykiel  
Autor



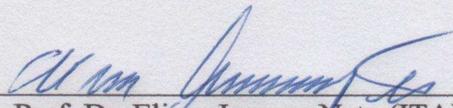
---

Prof. Dr. Maryangela Geimba de Lima (ITA)  
Orientador



---

Prof. Dr. Emmanuel Antonio dos Santos (ITA)  
Co-orientador



---

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto (ITA)  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

São José dos Campos, 24 de Novembro de 2009

# Dedicatória

*Dedico este Trabalho a meus pais, Valéria e Estevão, e aos meus irmãos, Junior e Bruno,  
por todo amor, carinho e compreensão.*

# Agradecimentos

Agradeço a meus avôs, avós, tios, tias e primos pelos momentos divertidos em família que me fizeram sentir reconfortado diante dos maiores desafios, antes intransponíveis.

Agradeço aos meus amigos pelas conversas e apoio para que eu realizasse esse trabalho.

Agradeço à Prof. Maryangela e ao Prof. Emmanuel pela orientação desse trabalho. A disponibilidade deles foi essencial para a conclusão deste trabalho de graduação.

Agradeço à Prof. Rogéria, relatora deste trabalho, pela ajuda e pela identificação de frentes de estudos para que o trabalho fosse desenvolvido.

Agradeço à Instituição “ITA” por ter me acolhido nesses cinco anos de aprendizado e dedicação à Escola.

“(...) For what it's worth  
It was worth all the while (...)  
I hope you had the time of your life”  
Green Day – Time of Your Life

# Resumo

A proposta principal deste Trabalho é analisar aeroportos brasileiros sob a ótica da ocupação das áreas no seu entorno e definir uma metodologia de comparação, baseado na estrutura do método de apoio à decisão AHP, a fim de ranquear os aeroportos de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno.

Foram hierarquizados 36 aeroportos da Rede Infraero baseado em uma metodologia de comparação com três critérios: área urbana afetada pelas curvas de ruído do aeroporto, número de habitantes dentro das curvas de ruído e número de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

A classificação dos aeroportos quanto ao impacto sonoro é uma importante ferramenta que pode ser útil para respaldar a tomada de decisão dos atores envolvidos no setor aéreo para estabelecer medidas emergenciais de controle do ruído aeronáutico em um grupo de aeroportos, priorizar a elaboração de estudos para o controle do ruído aeroportuário em um determinado aeroporto e priorizar investimentos.

Os quatro aeroportos mais críticos em relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno, de acordo com a metodologia aplicada neste Trabalho, são:

- Aeroporto Internacional de Guarulhos/São Paulo;
- Aeroporto Internacional de Recife;
- Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão;
- Aeroporto de São Paulo/Congonhas.

# Abstract

This work had as principal objective to analyze Brazilian Airports on focus on occupation in its nearby areas and to define a new comparison methodology based on the structure of the decision-support system called AHP (Analytic Hierarchy Process) in order to rank the airports according to the aeronautical noise impact in nearby areas.

Thirty-six Infraero's Airports were ranked based on a comparison methodology with three criteria: urban area affected by the aeronautical noise, number of habitants inside the aeronautical noise curves and number of planes landing and taking-off on the airport in the period of 10 P.M and 7 A.M.

The ranking of the airports according to the aeronautical noise impact is an important tool that can be useful to support the decision maker involved in the Air Transport establishing urgent tasks to control the noise impact in a group of airports, prioritize studies to control the aeronautical noise in an airport and prioritize investments.

The top four most critical airports with respect to the aeronautical noise impact in its nearby areas according to the methodology applied in this paper are:

- Guarulhos/São Paulo Internacional Airport;
- Recife Internacional Airport;
- Rio de Janeiro/Galeão Internacional Airport;
- São Paulo/Congonhas Airport.

# Sumário

Capítulo 1	Introdução.....	13
1.1	Considerações Iniciais .....	13
1.2	Objetivo .....	15
1.3	Relevância.....	15
1.4	Estrutura.....	16
Capítulo 2	Ruído Aeronáutico.....	17
2.1	Apresentação.....	17
2.2	Ruído Aeronáutico .....	18
2.3	Curvas de Ruído.....	20
2.4	Medidas de controle do ruído aeronáutico.....	21
Capítulo 3	Problemática do uso de áreas no entorno dos aeroportos.....	24
3.1	Planos de Zona de Proteção (PZP).....	24
3.2	Planos de Zoneamento de Ruído (PZR).....	25
3.3	Estudo de caso: Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto internacional de Guarulhos .....	27
Capítulo 4	Metodologia.....	32
4.1	AHP .....	34
4.2	Definição dos critérios .....	34
4.3	Aeroportos Analisados.....	35
4.4	Determinação dos pesos para cada critério .....	37
4.5	Vetor prioridade dos aeroportos.....	39
4.6	Avaliação dos aeroportos em relação ao seu entorno .....	39
Capítulo 5	Apresentação e Análise de Resultados .....	40
5.1	Comparação com os resultados da COPPE/UFRJ .....	46
Capítulo 6	Considerações Finais .....	50
	Referências Bibliográficas.....	52

# Lista de Figuras

Figura 2-1 Representação da projeção em níveis de ruído na decolagem de aeronaves SCATOLINI (2006, Apud VALIM, 2006). .....	19
Figura 2-2 Curvas de Ruído do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão ANAC (2009) .....	21
Figura 2-3 Níveis sonoros por Capítulo de aeronave - classificação ICAO - VALIM (2006)	23
Figura 3-1 Croqui de um Plano Básico de Zona de Proteção de Aeroportos IAC (2004). .....	25
Figura 3-2 Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) TAVARES (2003).....	26
Figura 3-3 Plano de Zoneamento Urbano no entorno do Aeroporto de Guarulhos. ....	28
Figura 3-4 Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto de Guarulhos .....	28
Figura 4-1 Matriz de importância dos critérios VIEIRA (2006). .....	38

# Lista de Tabelas

Tabela 3-1 Restrições ao uso do solo - Plano Específico de Zoneamento de Ruído.....	29
Tabela 4-1 Aeroportos analisados por Nogueira (2006) .....	33
Tabela 4-2 Aeroportos analisados .....	36
Tabela 4-3 Pesquisa para determinação dos pesos dos critérios .....	38
Tabela 5-1 Matriz de importância dos critérios.....	40
Tabela 5-2 Matriz normalizada de importância dos critérios .....	41
Tabela 5-3 Vetor prioridade dos critérios.....	41
Tabela 5-4 Dados dos aeroportos analisados –Matriz de Decisão .....	42
Tabela 5-5 Matriz de Decisão Normalizada – Vetor prioridade dos aeroportos .....	43
Tabela 5-6 Hierarquização dos aeroportos em relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno.....	45
Tabela 5-7 Hierarquização dos aeroportos em relação ao número de pessoas residentes dentro da curva de ruído $L_{DN}=65$ dB(A), segundo Nogueira (2006).....	47
Tabela 5-8 Hierarquização dos aeroportos quanto ao risco de impacto ambiental sonoro para a área da curva de ruído descontado plano de água após a aplicação de Lógica Fuzzy, conforme apresentado por Nogueira (2006) .....	48
Tabela 5-9 Comparação entre os resultados deste trabalho e o de Nogueira (2006) .....	49

# Lista de Abreviações

AHP	Analytic Hierarchy Process
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CNEL	Community Noise Equivalent Level
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE/UFRJ	Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia da UFRJ
DAC	Departamento de Aviação Civil
EIA/RIMA	Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
HOTRAN	Horários de Transporte da Aviação Comercial Brasileira
IAC	Instituto de Aviação Civil
IATA	International Air Transport Association
ICAO / OACI	International Civil Aviation Organization / Organização de Aviação Civil Internacional
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPR	Índice Ponderado de Ruído
L <sub>DN</sub>	Day-Night Sound Level
LEQ	Equivalent Continuous Sound Level - Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua
NNI	Noise and Number Index
OECD	Organization for economic Co-operation and Development
PEZP	Plano Específico de Zona de Proteção
PEZR	Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PZP	Plano de Zona de Proteção
PZR	Plano de Zoneamento de Ruído
SEL	Sound Exposure Level - Nível Total de Exposição Sonora
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
ZA	Zonas Aeroportuárias

# Capítulo 1 Introdução

## 1.1 Considerações Iniciais

O transporte aéreo é um dos setores mais dinâmicos e de rápida evolução no mundo. Cada vez mais se faz necessária a sua utilização tendo em vista a crescente globalização. O fenômeno da globalização vem causando mudanças profundas nos padrões da demanda por mobilidade em escala mundial e alterando o comportamento da população em geral, aumentando continuamente os níveis de tráfego e provocando melhoras cada vez maiores na eficiência da logística do transporte aéreo. Assim, o transporte aéreo cumpre importante papel estimulando as relações econômicas e o intercâmbio de pessoas e mercadorias, intra e entre as nações (IAC, 2004).

Segundo a IATA (2006), em nível mundial, o setor aéreo emprega mais de 40 milhões de pessoas especializadas, de elevado poder de compra, contribuindo significativamente para o giro econômico da riqueza mundial, constituindo-se num dos maiores exportadores, produzindo expressivos resultados positivos nas contas do comércio exterior de uma quantidade de países, em particular do primeiro mundo. Foram transportados mais de 1,7 bilhões de passageiros em 2001, tendo o turismo sido largamente incrementado pelo transporte aéreo, tornando-se uma atividade comercial essencial nas mais diferentes regiões do Globo (FILHO, 2008).

No Brasil, país de dimensões continentais, o transporte aéreo vem evoluindo com a economia desde os idos de 1927. Em que pese uma trajetória por vezes irregular, o desempenho do transporte aéreo no Brasil, quando analisado no longo prazo, não é nada modesto (IAC, 2004). O transporte aéreo após o êxito do plano de estabilização econômica de 1994 (Plano Real) experimentou um notável crescimento em seus diversos segmentos. Esse crescimento também é notado no turismo brasileiro. Nos últimos anos, o turismo vem se firmando como uma das grandes vocações brasileiras para geração de emprego e renda que impulsiona o setor de transporte aéreo brasileiro.

Diante desse panorama, o transporte aéreo e sua infra-estrutura aeroportuária constituem-se num significativo indutor de desenvolvimento econômico e social não só para a comunidade localizada no entorno dos aeroportos como também para a região, estado e o país

(TAVARES, 2003). Porém, os aeroportos produzem uma série de efeitos sobre a população localizada em seu entorno ocasionando, por vezes, restrições operacionais aeronáuticas e, em alguns casos, até a interdição definitiva do aeroporto.

Com o objetivo de impedir ou minimizar esses efeitos, foram criados vários instrumentos legais para restringir o uso do solo no entorno dos aeroportos. Um dos principais fatores na eficiência da aplicação desses instrumentos está relacionado ao processo de fiscalização. Entretanto, em virtude do grande número de aeroportos, da evolução do transporte aéreo e do crescimento urbano no Brasil, o atual processo de fiscalização não dispõe, ainda, de ferramentas que permitam acompanhar com maior rapidez e precisão toda essa evolução (TAVARES, 2003).

O desenvolvimento de muitos aeroportos já existentes tem sido limitado em função do seu envolvimento pela malha urbana, seja pela dificuldade em sua acessibilidade, ou por questões de segurança das operações ou pelas reclamações da comunidade devido ao ruído aeronáutico. A maioria dos aeroportos brasileiros foram implantados em áreas não povoadas e relativamente distantes dos centros geradores de demanda o que garantia, em um primeiro momento. Entretanto, as áreas localizadas no entorno dos aeroportos tornaram-se pólos de elevado potencial de urbanização. Assim, percebeu-se uma migração populacional bastante intensa para essas áreas ocasionando em um dos usos incompatíveis com as atividades aeroportuárias, o uso residencial.

O uso do solo com atividades não compatíveis com as atividades aeronáuticas, no entorno de alguns aeroportos, vem prejudicando o seu desenvolvimento e ampliação, até mesmo levando sua interdição. A atividade aeroportuária produz vários efeitos sobre o uso do solo em seu entorno, tais como as restrições impostas pelo ruído. De acordo com o Relatório Ambiental 2003/2004 da Infraero, o ruído aeronáutico é um dos principais impactos ambientais resultantes da atividade aeroportuária e apresenta-se como um dos mais complexos e de difícil mitigação (INFRAERO, 2004). É uma externalidade negativa do transporte aéreo, refletindo não só nas atividades da área do aeroporto como também no seu entorno. Para minimizar os problemas causados pelo ruído aeronáutico, foi aprovado pelo então Ministro da Aeronáutica a Portaria Nº 1.141/GM5 de 8 de Dezembro de 1987 (BRASIL, 1987). que contempla os Planos de Zoneamento de Ruído (PZR). Os PZR são instrumentos que, a longo prazo, viabilizam a adequação do desenvolvimento do solo nas áreas afetadas pelo ruído

aeronáutico, pois algumas atividades como escolas, hospitais e residências, que são mais sensíveis ao ruído, não são permitidas (TAVARES, 2003).

## 1.2 **Objetivo**

O objetivo deste Trabalho de Graduação é analisar as áreas no entorno de aeroportos brasileiros e definir uma metodologia de comparação, baseado na estrutura do método de apoio à decisão AHP, a fim de ranquear os aeroportos de acordo com o impacto do ruído aeronáutico nas áreas de seu entorno.

A proposta principal deste Trabalho é estudar aeroportos brasileiros sob a ótica da ocupação das áreas no seu entorno. Para isso, foram analisados os Planos Diretores e as Leis de Ocupação e Uso dos Solos – mais conhecida como Lei de Zoneamento - das cidades e os Planos Específicos de Zoneamento de Ruído dos aeroportos, de onde foram levantadas informações como: o uso e ocupação do solo, população atingida, área urbana afetada pelo ruído aeronáutico.

## 1.3 **Relevância**

A relevância deste Trabalho está relacionada com a hierarquização de 36 aeroportos brasileiros da Rede Infraero com relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno. Foi utilizada, para isso, uma metodologia de comparação baseada na estrutura do método de apoio à decisão AHP. Os aeroportos foram classificados de acordo com a composição da pontuação recebida por cada aeroporto através de três critérios:

- Área da Curva de Ruído  $L_{DN}=65$  dB(A) ( $Km^2$ );
- População Residente Dentro da Curva de Ruído de  $L_{DN}=65$  dB(A);
- Quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

Outros estudos de hierarquização de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno classificaram os aeroportos em relação a um único critério. Por esses trabalhos, foram geradas diversas listas que podem distorcer a análise de tomador de decisão para a priorização de investimentos no controle do ruído aeronáutico.

O resultado deste Trabalho de Graduação é uma única classificação de 36 aeroportos brasileiros de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno. Assim, este estudo pode respaldar o tomador de decisão a definir medidas prioritárias de controle do ruído aeronáutico e priorização de investimentos nos aeroportos brasileiros.

#### 1.4 Estrutura

Este Trabalho de Graduação está estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 1 - Introdução, onde são apresentados os objetivos e considerações iniciais;

Capítulo 2 - Ruído Aeronáutico, onde são apresentados conceitos e definições importantes sobre o ruído aeronáutico e curvas ruído no contexto do transporte aéreo;

Capítulo 3 – Problemática do uso de áreas no entorno dos Aeroportos, onde serão apresentados os instrumentos legais que restringem o uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto tais como o Plano de Zona de Proteção (PZP) e Plano de Zoneamento de Ruído do Aeroporto (PZR).

Capítulo 4 – Metodologia. Este capítulo tem por objetivo de apresentar a metodologia aplicada para a hierarquização dos principais aeroportos brasileiros em relação ao impacto gerado pelo ruído aeronáutico no seu entorno de cada aeroporto.

Capítulo 5 – Apresentação e Análise de Resultados. Este capítulo apresentará os resultados e análises referentes à aplicação da metodologia descrita no Capítulo 4 para se chegar ao objetivo principal do Trabalho: a hierarquização dos aeroportos brasileiros de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno.

# Capítulo 2 Ruído Aeronáutico

## 2.1 Apresentação

A partir da década de 1980, o Brasil estabeleceu uma Política Nacional do Meio Ambiente, com a constituição do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, que incorpora a necessidade de avaliação do impacto ambiental gerado por grandes projetos e grandes equipamentos, por meio dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (EIA/RIMA). De acordo com a Resolução CONAMA N<sup>o</sup> 001, o Estudo do Impacto Ambiental tem como diretrizes o diagnóstico ambiental da área a ser afetada, análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos e programa de acompanhamento e monitoramento das medidas corretivas a estes impactos (CONAMA, 1986).

As propostas para implantação de aeroportos que consideravam apenas termos de Engenharia, princípios técnicos, critérios econômicos e benefícios para os usuários e comunidades, passaram a incorporar a consideração sobre os impactos ambientais.

Segundo Horonjeff (1993) são quatro tipos de fatores associados aos impactos gerados pelos aeroportos:

- Fatores de poluição que contemplam a qualidade do ar, qualidade da água, ruído e impactos de construção;
- Fatores sociais que estão relacionados com as restrições de uso do solo que o aeroporto naturalmente impõe;
- Fatores ecológicos que incluem impactos na vida selvagem, na flora e fauna, em espécies em perigo de extinção e em zonas costeiras ou alagadiças;
- Fatores econômicos e de Engenharia que estão relacionados com o aumento do risco de inundação, custo da construção e operação do aeroporto, benefícios de sua implantação, uso de energia e de recursos naturais.

Os impactos ambientais causados por um aeroporto são estudados em duas fases: a construção ou ampliação e a sua operação. Segundo Veronese (2000, apud VALIM, 2006)

dentre os impactos ambientais mais sérios que estão relacionados com a operação de aeroportos estão: ruído aeronáutico, colisões com aves, risco de contaminação do solo, grande consumo nominal de água e energia, entre outros. Este trabalho irá focar no impacto gerado pelo ruído aeronáutico nas áreas no entorno de aeroportos. Para tanto é necessário apresentar alguns conceitos básicos relacionados com o tema.

## 2.2 Ruído Aeronáutico

O transporte aéreo tornou-se economicamente viável com o aprimoramento da tecnologia das aeronaves a jato, com o aumento da capacidade das aeronaves, com o aumento da frequência de vôos e com o desenvolvimento da aviação civil. A partir de então o crescimento do transporte aéreo foi acompanhado por reclamações sobre o ruído produzido pelas aeronaves.

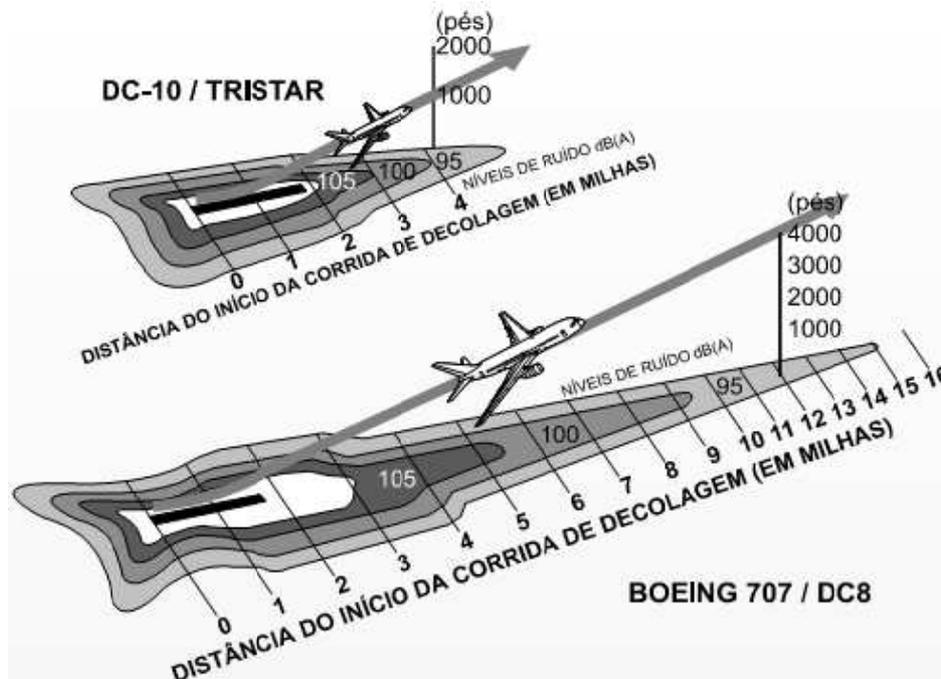
O ruído é definido como sendo um som indesejável, isto é, um som que incomoda de alguma forma o bem estar psicológico, podendo ainda, dependendo de sua intensidade, causar danos fisiológicos irreversíveis (ELLER, 2000). Ruído, de acordo com Bruel & Kjaer (2001, apud VALIM, 2006), pode ser definido como qualquer variação de pressão atmosférica que as pessoas possam detectar. O ruído aeronáutico por sua vez é todo ruído proveniente da operação das aeronaves ou dos equipamentos de apoio às aeronaves.

As diretrizes da Organização Mundial da Saúde juntamente com a *Organization for Economic Co-operation and Development* – OMS/OECD (apud VALIM, 2006) apontam que:

- Até 55 dB (A) é aceitável segundo a OMS (para o ruído próximo do limite da área do aeroporto, e durante o dia);
- Entre 55 e 60 dB (A) é esperado o registro de incômodo;
- Entre 60 e 65 dB (A) o incômodo aumenta consideravelmente;
- Acima de 65 dB (A) é esperado ocorrência de sintomas e sérios danos à saúde;

A Figura 2-1 representa o alcance no solo dos níveis de ruído produzidos durante o procedimento de decolagem de uma aeronave do tipo Boeing 707/DC8 e DC-10/Tristar. Pode-se observar que o nível de pressão sonora pode ultrapassar bastante o nível a partir do

qual a OMS considera que é esperado a ocorrência de sintomas e sérios danos à saúde (acima de 65 dB(A)).



**Figura 2-1** Representação da projeção em níveis de ruído na decolagem de aeronaves SCATOLINI (2006, Apud VALIM, 2006).

Os parâmetros mais utilizados para avaliação da pressão sonora são o SEL ("Sound Exposure Level" ou Nível Total de Exposição Sonora) e o LEQ ("Equivalent Continuous Sound Level" ou Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua). O SEL, muito utilizado para avaliação de ruído aeronáutico, é a soma de todos os níveis de pressão sonora medidos por unidade de tempo, dentro do intervalo de interesse. O LEQ considera o som como uma fonte de energia e para se avaliar os danos causados à audição se devem considerar não apenas os níveis sonoros, mas também sua duração (ELLER, 2000).

A partir desses parâmetros para avaliação sonora, foram criados alguns métodos de avaliação de ruído percebido que levam em consideração o efeito acumulado dos eventos sonoros. Dentre eles podem ser citados o *Day-Night Sound Level* ( $L_{dn}$ ), *Community Noise Equivalent Level* (CNEL), *Noise and Number Index* (NNI) e Índice Ponderado de Ruído (IPR) (ELLER, 2000).

No Brasil, é utilizado o IPR que considera em sua formulação o número de aeronaves que percorrem uma determinada trajetória em um determinado período do dia e um

coeficiente de ponderação, em função da movimentação de aeronaves em um determinado período do dia.

O ruído aeronáutico é considerado o principal problema ambiental gerado na operação dos aeroportos, porque afeta diretamente a qualidade de vida de um grande número de pessoas que residem nas suas proximidades e que, em geral, não são beneficiadas diretamente pelas atividades aeroportuárias. Primordialmente, este problema está relacionado às operações de pouso, decolagem, taxiamento e teste de motores.

### **2.3 Curvas de Ruído**

Uma curva de ruído é uma linha de valor constante de exposição ao ruído aeronáutico, calculada normalmente por um período de tempo determinado, para uma frota de aeronaves em condições operacionais de rotina – são também denominadas curvas isofônicas. De forma geral, as curvas de ruído são mapeadas a intervalos de índice de ruído para auxiliar na definição das zonas “mais afetadas” versus as “menos afetadas” no entorno do aeroporto (VALIM, 2006). A Figura 2-2 ilustra as curvas de ruído do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão.

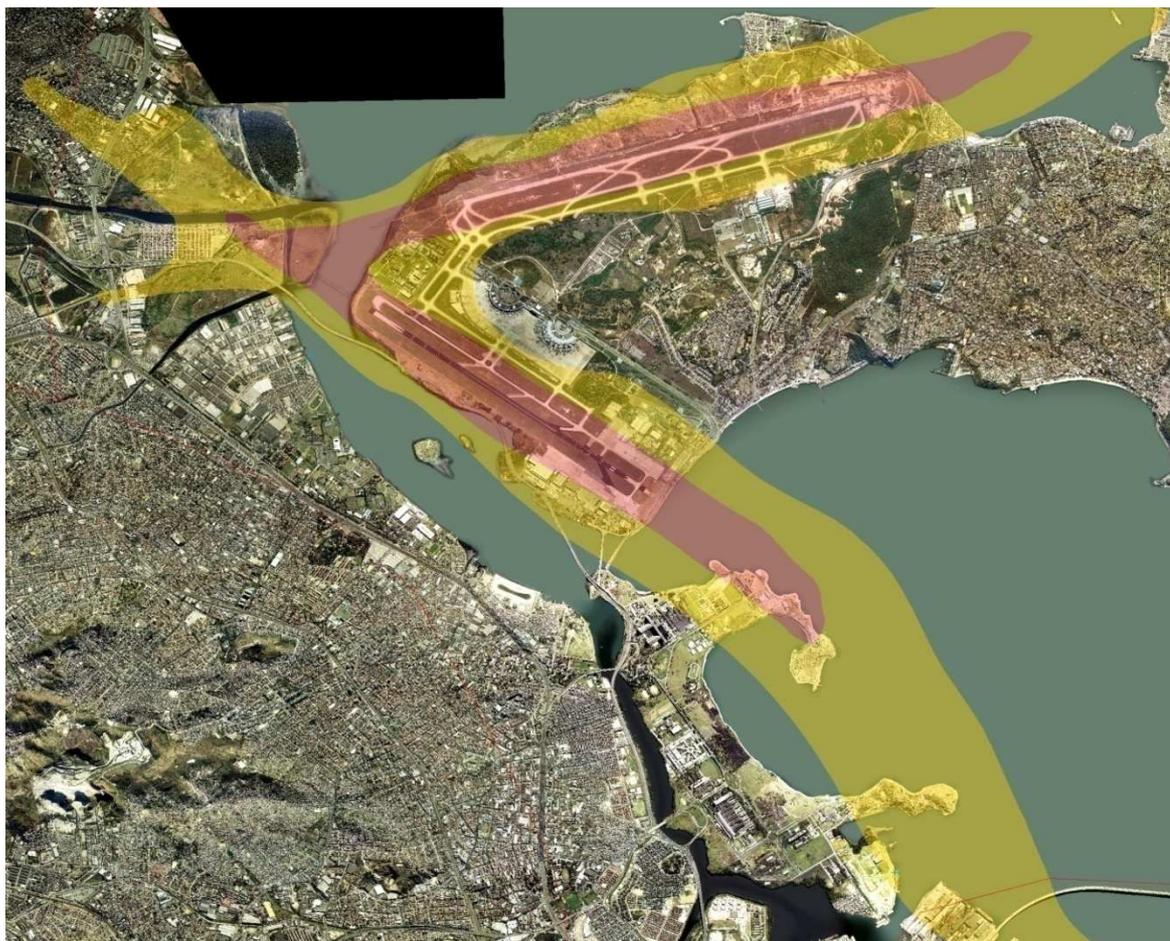


Figura 2-2 Curvas de Ruído do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão ANAC (2009)

A percepção do ruído de uma aeronave voando nas imediações de um aeroporto, para um receptor no solo, depende de diversos fatores. Dentre eles estão incluídos os tipos de aeronave que operam no aeroporto, o número global de pousos e decolagens, as condições operacionais, a hora do dia na qual ocorrem as operações aeroviárias, as pistas que são usadas, as condições atmosféricas e os procedimentos de voo específicos do aeroporto que afetam o ruído produzido.

## 2.4 Medidas de controle do ruído aeronáutico

A gestão da poluição se enquadra numa orientação sobre a gestão de ruído de aeronave – “*Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*” ou simplesmente *Balanced Approach* – que abrange quatro elementos-chave para o controle deste impacto ambiental (ICAO, 2004):

- A redução do ruído na fonte geradora;

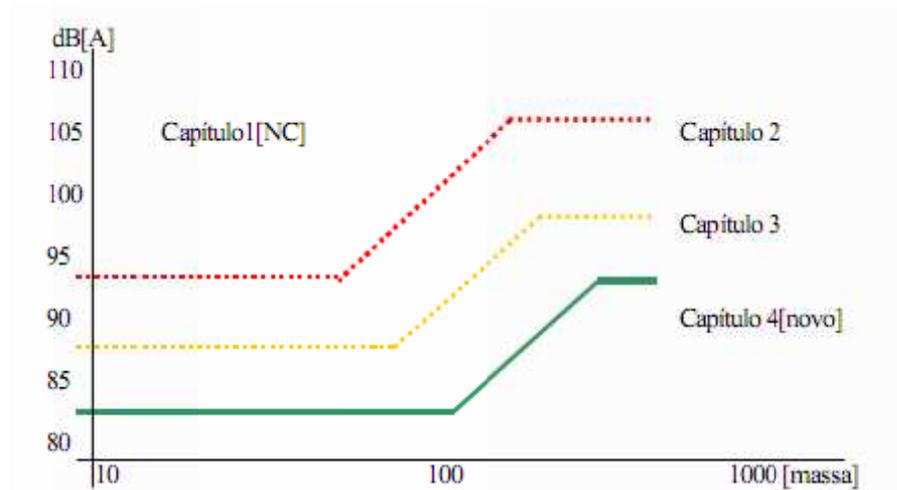
- A adaptação dos procedimentos de pouso e decolagem para a realidade de cada aeroporto;
- A restrição da operação de aeronaves em determinados períodos do dia;
- Planejamento e gestão do uso do solo.

Historicamente, a redução do ruído produzido por aeronaves foi feita pelo aperfeiçoamento da tecnologia dos motores. As aeronaves que estão entrando em operação hoje são aproximadamente 20 dB mais silenciosas que as produzidas há 30 anos (ICAO, 2004).

O Brasil, como signatário da OACI, adota a classificação do Anexo 16, volume I, apresentada a seguir como base de sua legislação de retirada progressiva das aeronaves mais ruidosas:

- Não Certificadas: São aeronaves fabricadas nas décadas de 50 e 60, normalmente equipadas com a primeira geração de motores a reação, sendo consideradas extremamente ruidosas. Ex.: B-707, DC08, Caravelle, Concorde;
- Capítulo 2 do Anexo 16 (volume I): São aeronaves fabricadas até outubro de 1977, equipadas com a segunda geração de motores a reação sendo, portanto, consideradas medianamente ruidosas. Ex.: B-727-200, B-737-200 ADV, B-747-100, DC-09;
- Capítulo 3 do Anexo 16 (volume I): são aeronaves mais modernas, equipadas com motores de última geração, sendo consideradas como pouco ruidosas. Ex.: F100, B-737-300/400/500, DC10/30, MD11, A340, A300, B-777.

A tendência mundial ao longo prazo é a redução na fonte do nível de ruído. A Figura 2-3 representa em forma de gráfico o nível sonoro para cada classificação de aeronave, em função de sua massa.



**Figura 2-3 Níveis sonoros por Capítulo de aeronave - classificação ICAO - VALIM (2006)**

A adoção de rotas preferenciais na decolagem, e também de pouso, é baseada no uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto, de forma que os sobrevôos incomodem acusticamente o mínimo possível as áreas urbanas mais densas. Essas rotas são estabelecidas para que as aeronaves evitem as áreas sensíveis a ruído de sobrevôo nas imediações do aeroporto, considerando limitações específicas como a topografia do terreno (VALIM, 2006).

No caso de aeroportos onde exista grande movimentação aérea para diferentes destinos, a adoção de trajetórias dispersas de vôos contribui para reduzir a extensão das áreas de exposição a ruído, apesar de aumentar a amplitude do impacto.

## Capítulo 3 **Problemática do uso de áreas no entorno dos aeroportos**

O aeroporto é um dos equipamentos urbanos que mais requer cuidado e atenção para se evitar ou mitigar impactos negativos à população e ao meio ambiente. Os cuidados, em relação ao meio ambiente aeroportuário e seu entorno, têm sido cada vez mais intensificados a fim de minimizar esses impactos gerados. Os impactos causados por um aeroporto são estudados e monitorados desde a sua construção ou ampliação até sua operação.

É importante que o aeroporto esteja integrado com a estrutura urbana e atendendo a demanda local ou regional – dependendo do seu porte. Porém o desenvolvimento aeroportuário produz vários efeitos sobre o uso do solo em seu entorno. Um dos principais efeitos está relacionado ao problema da poluição sonora gerada, principalmente pela operação das aeronaves com motores à reação. O ruído aeronáutico é um dos impactos ambientais mais sérios e que abrange uma área bem maior que a própria área patrimonial do aeroporto, afetando bastante a população residente em seu entorno.

Para minimizar os problemas causados pelo ruído aeronáutico, foram aprovados pelo Ministro da Aeronáutica a Portaria N° 1.141/GM5, de 8 de Dezembro de 1987 (BRASIL, 1987), e os Planos Básicos de Zoneamento de Ruído (PZR). Os PZR são instrumentos que em longo prazo viabilizam o adequado desenvolvimento do uso do solo nas áreas afetadas pelo ruído aeronáutico.

Outro instrumento que restringe o uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto está relacionado com as limitações da altura das edificações, definidas de forma a atender aos parâmetros de segurança nos procedimentos de pouso e decolagem. Esses limites são definidos nos Planos de Zona de Proteção (PZP) regulamentados pela Portaria N° 1.141/GM5, de 8 de Dezembro de 1987 (BRASIL, 1987).

### **3.1 Planos de Zona de Proteção (PZP)**

Tem por finalidade regulamentar e organizar o uso do solo nas áreas circunvizinhas aos aeródromos. O PZP é composto por um conjunto de superfícies imaginárias, bi ou tridimensionais, que estabelece as restrições de altura impostas ao aproveitamento das

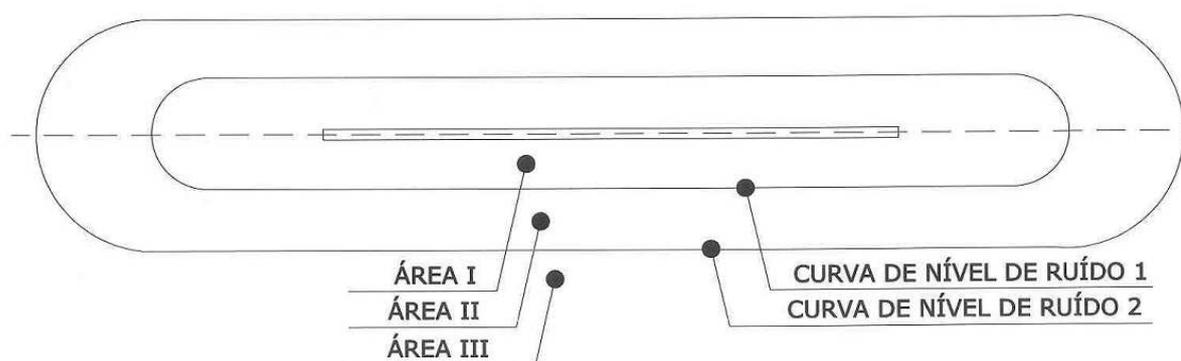
propriedades localizadas dentro da Zona de Proteção de um aeródromo. Esses planos definem uma série de gabaritos que não podem ser ultrapassados, impondo limites quanto à presença de edificações e outros objetos, naturais ou artificiais, que venham a representar perigo ou risco às operações aéreas (IAC, 2004). A Figura 3-1 apresenta um croqui exemplificando esses gabaritos em uma visão em três dimensões.



**Figura 3-1** Croqui de um Plano Básico de Zona de Proteção de Aeroportos IAC (2004).

### 3.2 Planos de Zoneamento de Ruído (PZR)

Esses Planos são formados pelas curvas de nível de ruído e de restrições ao uso do solo. Os planos são compostos por duas curvas denominadas Curvas de Nível de Ruído 1 e 2, que delimitam três áreas de ruído: Área I, Área II e Área III. Uma vez que o incômodo relativo ao ruído aeronáutico está diretamente relacionado à distância da fonte emissora e à intensidade da emissão, são estabelecidas restrições ao uso do solo nas proximidades dos aeroportos (Áreas I e II), dependendo das atividades desenvolvidas. Na Área III, normalmente não são registrados níveis de incômodo mais significativos e, portanto, não são estabelecidas restrições ao seu uso (IAC, 2004). A Figura 3-2 apresenta um plano básico de zoneamento de ruído regulamentado pela Portaria N° 1.141/GM5 de 8 de Dezembro de 1987 (BRASIL, 1987), aprovada pelo então Ministro da Aeronáutica.



**Figura 3-2 Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) TAVARES (2003).**

A Área I, por ser a mais próxima da pista, é aquela onde o ruído aeronáutico é mais intenso, podendo ocasionar sérios de incômodos, dependendo do tempo de exposição. Nesta área, a maioria das atividades urbanas é proibida. O  $L_{DN}$  (Day and Night Sound Level) que utiliza métrica similar ao IPR (Índice Ponderado de Ruído) nesta área é maior que 75 dB(A) (IAC, 2004).

Na Área II, os níveis de ruído e o incômodo são menores, o que torna possível o estabelecimento de algumas atividades urbanas. Todavia, estão proibidas atividades ligadas à saúde, educação e cultura. No caso das edificações residenciais, estas poderão ser permitidas em situações especiais, mediante elaboração de tratamento acústico. O  $L_{DN}$  (Day and Night Sound Level) nesta área está entre 65 dB(A) e 75 dB(A) (IAC, 2004).

Na Área III, os níveis de ruído e incômodo são bem menores que os das Áreas I e II, o que torna possível o estabelecimento de atividades urbanas sem restrições. O  $L_{DN}$  (Day and Night Sound Level) nesta área é menor que 65 dB(A) (IAC, 2004).

Em virtude do grande número de aeroportos existentes no Brasil e de suas características operacionais, são adotados dois tipos de Planos de Zoneamento de Ruído: o Plano Básico e o Específico.

O Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) foi criado para os aeroportos cujo número de movimentos anuais previstos para um horizonte de vinte anos é inferior a seis mil. Em geral, é aplicado à maioria dos aeroportos de pequeno porte e a alguns de médio porte, de acordo com a Portaria N° 1.141/GM5, de 8 de Dezembro de 1987 (BRASIL, 1987).

O Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR) é normalmente aplicado aos aeroportos de grande porte e, em alguns casos, de médio porte, que apresentem ou irão apresentar, em um horizonte de vinte anos, mais de seis mil movimentos anuais. É também

aplicado em substituição ao Plano Básico de Zoneamento de Ruído, não só quando a operação do aeroporto for alterada, mas em função do nível de urbanização da sua área de entorno (BRASIL, 1987). Esse Plano é elaborado especificamente para um determinado aeroporto.

No próximo item, será apresentado o Plano Específico de Zoneamento de Ruído de Guarulhos a fim de exemplificar as restrições impostas pelo aeroporto de Guarulhos em seu entorno no que tange seu zoneamento de ruído.

### **3.3 Estudo de caso: Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto internacional de Guarulhos**

O Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos aprovado pela Portaria Nº 479/DGAC, de 07 de dezembro de 1992, define as restrições de uso e ocupação do solo estabelecidas para cada uma das zonas aeroportuárias da cidade de Guarulhos. A Tabela 3-1 apresenta essas restrições de uso do solo no entorno do Aeroporto de Guarulhos.

As Zonas Aeroportuárias, também conhecidas como Áreas Especiais Aeroportuárias, são áreas demarcadas no entorno do aeroporto, para as quais são estabelecidas, em função das curvas de ruído, as condições de uso e ocupação de solo.

A Figura 3-3 apresenta o Plano de Zoneamento Urbano no entorno do Aeroporto de Guarulhos definido pelo Plano Diretor da Cidade de Guarulhos. A Figura 3-4 mostra o Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto de Guarulhos.



**Figura 3-3 Plano de Zoneamento Urbano no entorno do Aeroporto de Guarulhos.**



**Figura 3-4 Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto de Guarulhos**

Tabela 3-1 Restrições ao uso do solo - Plano Específico de Zoneamento de Ruído

ZONAS AEROPOR-TUÁRIAS	USOS PERMITIDOS	USOS PERMITIDOS COM RESTRIÇÕES	USOS PROIBIDOS
ZA-1 (H)	<p>Comércio, com exceção do comércio de explosivos e inflamáveis.</p> <p>Serviços, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Postos de Serviço;</li> <li>- Oficinas;</li> <li>- Agências;</li> <li>- Clubes;</li> <li>- Casas de diversão, boates, salão de festas;</li> <li>- Garagens;</li> <li>- Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos;</li> <li>- Transportadoras;</li> <li>- Barbearia, cabeleireiro;</li> <li>- Lavanderia, tinturaria;</li> <li>- Sapateiro;</li> <li>- Chaveiro, eletricista, encanador;</li> <li>- Serralheria e marcenaria;</li> <li>- Serraria;</li> <li>- Centro de exposições e outros serviços exercidos ao ar livre.</li> </ul>	<p>Residencial Unifamiliar<sup>(1)</sup>.</p> <p>Serviços <sup>(1)</sup>, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultórios;</li> <li>- Laboratórios;</li> <li>- Escritórios;</li> <li>- Hotéis e outros serviços de alojamento;</li> <li>- Centros comunitários e de convenções;</li> <li>- Auditórios, cinemas, teatros, salas de concertos;</li> <li>- Igrejas, templos religiosos;</li> <li>- Clínicas, pronto-socorros e postos de saúde, sem internação.</li> </ul> <p>Industrial<sup>(1)</sup>.</p>	<p>Residencial Multifamiliar.</p> <p>Serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolas e estabelecimentos similares e de ensino;</li> <li>- Hospitais e estabelecimentos similares de saúde;</li> <li>- Bibliotecas e museus;</li> <li>- Creches, orfanatos e asilos.</li> </ul>
ZA-2(I)	<p>Comercial, com exceção do comércio de explosivos e inflamáveis.</p> <p>Serviços, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Postos de Serviço;</li> <li>- Oficinas;</li> <li>- Agências;</li> <li>- Clubes;</li> <li>- Casas de diversão, boates, salão de festas;</li> <li>- Garagens;</li> <li>- Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos;</li> <li>- Transportadoras;</li> <li>- Barbearia, cabeleireiro;</li> <li>- Lavanderia, tinturaria;</li> <li>- Sapateiro;</li> <li>- Chaveiro, eletricista, encanador;</li> <li>- Serralheria e marcenaria;</li> <li>- Serraria;</li> <li>- Centro de exposições e outros serviços exercidos ao ar livre.</li> </ul>	<p>Serviços <sup>(1)</sup>, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultórios;</li> <li>- Laboratórios;</li> <li>- Escritórios;</li> <li>- Hotéis e outros serviços de alojamento;</li> <li>- Centros comunitários e de convenções;</li> <li>- Auditórios, cinemas, teatros, salas de concertos;</li> <li>- Igrejas, templos religiosos;</li> <li>- Clínicas, pronto-socorros e postos de saúde, sem internação.</li> </ul> <p>Industrial<sup>(1)</sup>.</p>	<p>Residencial Unifamiliar.</p> <p>Residencial Multifamiliar.</p> <p>Serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolas e estabelecimentos similares e de ensino;</li> <li>- Hospitais e estabelecimentos similares de saúde;</li> <li>- Bibliotecas e museus;</li> <li>- Creches, orfanatos e asilos.</li> </ul>

ZONAS AEROPOR-TUÁRIAS	USOS PERMITIDOS	USOS PERMITIDOS COM RESTRIÇÕES	USOS PROIBIDOS
ZA-3 (J)	<p>Comércio, com exceção do comércio de explosivos e inflamáveis.</p> <p>Serviços, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Postos de Serviço;</li> <li>- Oficinas;</li> <li>- Agências;</li> <li>- Clubes;</li> <li>- Casas de diversão, boates, salão de festas;</li> <li>- Garagens;</li> <li>- Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos;</li> <li>- Transportadoras;</li> <li>- Barbearia, cabeleireiro;</li> <li>- Lavanderia, tinturaria;</li> <li>- Sapateiro;</li> <li>- Chaveiro, eletricista, encanador;</li> <li>- Serralheria e marcenaria;</li> <li>- Serraria;</li> <li>- Centro de exposições e outros serviços exercidos ao ar livre.</li> </ul>	<p>Residencial Unifamiliar<sup>(1)</sup>.</p> <p>Serviços<sup>(1)</sup>, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultórios;</li> <li>- Laboratórios;</li> <li>- Escritórios;</li> <li>- Hotéis e outros serviços de alojamento;</li> <li>- Centros comunitários e de convenções;</li> <li>- Auditórios, cinemas, teatros, salas de concertos;</li> <li>- Igrejas, templos religiosos;</li> <li>- Clínicas, pronto-socorros e postos de saúde, sem internação.</li> </ul> <p>Industrial<sup>(1)</sup>.</p>	<p>Residencial Multifamiliar.</p> <p>Serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolas e estabelecimentos similares e de ensino;</li> <li>- Hospitais e estabelecimentos similares de saúde;</li> <li>- Bibliotecas e museus;</li> <li>- Creches, orfanatos e asilos.</li> </ul>
ZA-4 (L)	<p>Comercial, com exceção do comércio de explosivos e inflamáveis.</p> <p>Serviços, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Postos de Serviço;</li> <li>- Oficinas;</li> <li>- Agências;</li> <li>- Clubes;</li> <li>- Casas de diversão, boates, salão de festas;</li> <li>- Garagens;</li> <li>- Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos;</li> <li>- Transportadoras;</li> <li>- Barbearia, cabeleireiro;</li> <li>- Lavanderia, tinturaria;</li> <li>- Sapateiro;</li> <li>- Chaveiro, eletricista, encanador;</li> <li>- Serralheria e marcenaria;</li> <li>- Serraria;</li> <li>- Centro de exposições e outros serviços exercidos ao ar livre.</li> </ul>	<p>Serviços<sup>(1)</sup>, apenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consultórios;</li> <li>- Laboratórios;</li> <li>- Escritórios;</li> <li>- Hotéis e outros serviços de alojamento;</li> <li>- Centros comunitários e de convenções;</li> <li>- Auditórios, cinemas, teatros, salas de concertos;</li> <li>- Igrejas, templos religiosos;</li> <li>- Clínicas, pronto-socorros e postos de saúde, sem internação.</li> </ul>	<p>Serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolas e estabelecimentos similares e de ensino;</li> <li>- Hospitais e estabelecimentos similares de saúde;</li> <li>- Bibliotecas e museus;</li> <li>- Creches, orfanatos e asilos.</li> </ul>

ZONAS AEROPOR-TUÁRIAS	USOS PERMITIDOS	USOS PERMITIDOS COM RESTRIÇÕES	USOS PROIBIDOS
ZA-5 (M)	Comércio, com exceção do comércio de explosivos e inflamáveis. Serviços, apenas: - Postos de Serviço; - Oficinas; - Agências; - Clubes; - Casas de diversão, boates, salão de festas; - Garagens; - Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos; - Transportadoras; - Barbearia, cabeleireiro; - Lavanderia, tinturaria; - Sapateiro; - Chaveiro, eletricista, encanador; - Serralheria e marcenaria; - Serraria; - Centro de exposições e outros serviços exercidos ao ar livre.	Serviços <sup>(1)</sup> , apenas: - Consultórios; - Laboratórios; - Escritórios; - Hotéis e outros serviços de alojamento; - Centros comunitários e de convenções; - Auditórios, cinemas, teatros, salas de concertos; - Igrejas, templos religiosos; - Clínicas, pronto-socorros e postos de saúde, sem internação. Industrial <sup>(1)</sup> .	Residencial Unifamiliar. Residencial Multifamiliar. Serviços: - Escolas e estabelecimentos similares e de ensino; - Hospitais e estabelecimentos similares de saúde; - Bibliotecas e museus; - Creches, orfanatos e asilos.
ZA-6(N)	Comercial, apenas <sup>(3)</sup> : - Açougues; - Padarias; - Quitandas, mercearias, empórios; - Supermercados; - Bares. Serviços, apenas <sup>(3)</sup> : - Oficinas mecânicas; - Chaveiros; - Depósitos, com exceção de inflamáveis e explosivos; - Serralheria e marcenaria; - Serraria; - Postos de gasolina e outros serviços exercidos ao ar livre.	Comercial, apenas <sup>(1)</sup> , com exceção de comércio de explosivos e inflamáveis; Serviços <sup>(1)</sup> , apenas: - Consultórios; - Escritórios; - Agências; - Laboratórios. Industrial <sup>(1)</sup> .	Residencial Unifamiliar. Residencial Multifamiliar. Serviços: - Escolas e estabelecimentos similares e de ensino; - Hospitais e estabelecimentos similares de saúde; - Bibliotecas e museus; - Creches, orfanatos e asilos - Hotéis e outros estabelecimentos de alojamento - Centros comunitários e de convenções; - Igrejas e templos religiosos; - Auditórios, cinemas, teatros e salas de concerto.
ZA-7 (O)	Área Patrimonial do Aeroporto Determinas atividades poderão ser permitidas ou permitidas com restrição, mediante análise especial e aprovação da ANAC.		

(1) Estas atividades somente serão liberadas mediante tratamento acústico adequado nos locais de permanência de pessoas, cujo projeto deverá ser aprovado pela ANAC. O tratamento acústicos destas edificações observará um redução de ruído a ser determinada pela ANAC, conforme o caso.

(2) Na ZA-4(L) poderá, eventualmente, ser autorizada, a critério do DAC, a construção de edificações residenciais multifamiliares de até quatro pavimentos (incluindo o pavimento de acesso), com quatro unidades residenciais por andar, considerando-se o lote mínimo, para cada edificação, de 500 m<sup>2</sup>.

(3) Os estabelecimentos que possuem escritórios deverão apresentar projeto de tratamento acústico adequado, para aprovação da ANAC. O tratamento acústico observará uma redução de nível de ruído a ser determinada pela ANAC, conforme o caso.

**Fonte: BRASIL, 1992 (Apud ELLER, 2000).**

## Capítulo 4 Metodologia

Este capítulo tem o objetivo de apresentar a metodologia aplicada para a hierarquização dos principais aeroportos brasileiros em relação ao impacto gerado pelo ruído aeronáutico no seu entorno de cada aeroporto.

A metodologia consiste em:

- Estabelecer critérios de avaliação para os aeroportos estudados;
- Definir os pesos de cada critério para auxílio à tomada de decisão com base em um questionário elaborado para este fim;
- Estabelecer a matriz de decisão dos aeroportos a partir dos dados na análise de cada critério baseado na estrutura do método de apoio à decisão AHP;
- Hierarquização final dos aeroportos estudados.

A classificação dos aeroportos quanto ao impacto sonoro é uma importante ferramenta que pode ser útil para respaldar a tomada de decisão dos atores envolvidos no setor aéreo para estabelecer medidas emergenciais de controle do ruído aeronáutico em um grupo de aeroportos, priorizar a elaboração de estudos para o controle do ruído aeroportuário em um determinado aeroporto e priorizar investimentos (NOGUEIRA, 2006).

Este trabalho teve como ponto de partida um estudo realizado por Nogueira (2006), apresentado no Seminário Ruído Aeronáutico nas Áreas do Entorno de Aeroportos no Brasil da INFRAERO em 2006, sobre a classificação dos aeroportos quanto ao impacto e ao risco de impacto ambiental sonoro.

No estudo de Nogueira (2006) a classificação foi realizada com 40 aeroportos brasileiros a partir de critérios como:

- Área da Curva de Ruído  $L_{DN}=65\text{dB(A)}$  ( $\text{Km}^2$ );
- População Residente Dentro da Curva de Ruído de  $LDN=65\text{dB(A)}$ ;

Na Tabela 4-1, estão apresentados os aeroportos que foram analisados por Nogueira (2006).

**Tabela 4-1 Aeroportos analisados por Nogueira (2006)**

<b>Nº</b>	<b>Sigla</b>	<b>Aeroporto</b>	<b>Estado</b>	<b>Cidade</b>
1	SBRB	Rio Branco	AC	Rio Branco
2	SBMO	Maceió	AL	Maceió
3	SBEG	Manaus	AM	Manaus
4	SBMQ	Macapá	AP	Macapá
5	SBIL	Ilhéus	BA	Ilhéus
6	SBSV	Salvador	BA	Salvador
7	SBFZ	Fortaleza	CE	Fortaleza
8	SBBR	Brasília	DF	Brasília
9	SBVT	Vitória	ES	Vitória
10	SBGO	Goiânia	GO	Goiânia
11	SBSL	São Luis	MA	São Luis
12	SBBH	Pampulha	MG	Belo Horizonte
13	SBUL	Uberlândia	MG	Uberlândia
14	SBCF	Confins	MG	Belo Horizonte
15	SBCG	Campo Grande	MS	Campo Grande
16	SBCY	Cuiabá	MT	Cuiabá
17	SBBE	Belém	PA	Belém
18	SBMA	Marabá	PA	Marabá
19	SBJC	Júlio César	PA	Belém
20	SBJP	João Pessoa	PB	João Pessoa
21	SBRF	Recife	PE	Recife
22	SBTE	Teresina	PI	Teresina
23	SBCT	Curitiba	PR	Curitiba
24	SBLO	Londrina	PR	Londrina
25	SBFI	Foz Iguaçu	PR	Foz Iguaçu
26	SBBI	Bacacheri	PR	Curitiba
27	SBGL	Galeão	RJ	Rio de Janeiro
28	SBME	Macaé	RJ	Macaé
29	SBRJ	Santos Dumont	RJ	Rio de Janeiro
30	SBJR	Jacarepaguá	RJ	Rio de Janeiro
31	SBNT	Natal	RN	Natal
32	SBPA	Porto Alegre	RS	Porto Alegre
33	SBFL	Florianópolis	SC	Florianópolis
34	SBJV	Joinville	SC	Joinville
35	SBNF	Navegantes	SC	Navegantes
36	SBAR	Aracaju	SE	Aracaju
37	SBSP	Congonhas	SP	São Paulo
38	SBGR	Guarulhos	SP	Guarulhos
39	SBKP	Viracopos	SP	Campinas
40	SBMT	Campo de Marte	SP	São Paulo

## 4.1 AHP

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método de apoio à tomada de decisão. Baseado em matemática e psicologia, ele foi desenvolvido na década de 1970 por Thomas L. Saaty (VIEIRA, 2006). O AHP fornece um procedimento compreensivo e racional para estruturar um problema, para representar e quantificar seus elementos, para relacionar estes elementos com as metas globais e para avaliar soluções alternativas. É utilizado pelo mundo todo em uma ampla variedade de situações de decisões, em campos como governo, negócios, indústria, saúde e educação.

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada somente na estrutura do método AHP. O AHP só pode ser utilizado quando se quer classificar até sete alternativas, no caso deste trabalho, até sete aeroportos. Como a hierarquização foi realizada com 36 aeroportos, utilizou-se somente a estrutura deste método para processar a análise.

## 4.2 Definição dos critérios

Neste trabalho, os critérios que foram levados em consideração para a hierarquização dos aeroportos em relação ao impacto sonoro gerado pela atividade aeroportuária foram:

- Área da Curva de Ruído  $L_{DN}=65$  dB(A) ( $Km^2$ );
- População Residente Dentro da Curva de Ruído de  $L_{DN}=65$  dB(A);
- Quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

A área da curva de ruído  $L_{DN}=65$  dB(A) (curva II do PZR) é um parâmetro através do qual se pode avaliar qual a área urbana afetada pela atividade aeroportuária. Essa área representa o somatório das áreas I e II no PZR do aeroporto, ou seja, dentro dessa extensão o índice  $L_{DN}$  (*Day and Night Sound Level*) possui valor maior ou igual a 65 dB(A). Consideraram-se, para a análise, as áreas cobertas pela curva II do PZR descontando o plano de água (áreas com água em sua superfície). Essa ressalva é importante quando se avaliam aeroportos como o Galeão, no Rio de Janeiro, em que parte das curvas de ruído está situada na Bacia de Guanabara, vide Figura 2-2.

O segundo critério analisado foi a quantidade de pessoas residentes na curva de ruído II. Essa é uma importante variável para a análise, pois o ruído aeronáutico é um

problema que afeta diretamente a qualidade de vida dessas pessoas que, em geral, não são beneficiadas diretamente pelas atividades aeroportuárias.

Outro critério analisado foi a quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno, entre às 22 horas e às 7 horas da manhã. Esse período é o mais crítico em relação ao impacto do ruído aeronáutico na qualidade de vida da população do entorno, pois o incômodo é maior por afetar o descanso e o sono das pessoas. No período diurno, o ruído aeronáutico se confunde com o ruído urbano não impactando de maneira expressiva na qualidade de vida das pessoas no entorno ao aeroporto.

Pensou-se em acrescentar outro critério na análise: o ruído da aeronave tipo em operação noturna no aeroporto. Essa variável foi descartada ao se perceber a correlação logarítmica entre esse parâmetro e a quantidade de movimentações de aeronaves (ELLER, 2000). O cálculo do  $L_{DN}$  (*Day-Night Sound Level*) é baseado no número de operações de aeronaves.

### 4.3 Aeroportos Analisados

Neste trabalho, foram analisados 36 aeroportos da Rede Infraero. A lista de aeroportos foi baseada no estudo de Nogueira (2006), porém algumas modificações foram feitas para que se pudesse realizar a hierarquização com um novo critério: a quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

A partir da lista de aeroportos analisados por Nogueira (2006), foram retirados os aeroportos que não possuíam a quantidade de movimentações de aeronaves (vôos regulares) descritas no HOTRAN (ANAC, 2009). Esses aeroportos foram: Júlio Cesar (PA), Campo de Marte (SP), Bacacheri (PR) e Jacarepaguá (RJ). Os aeroportos analisados estão listados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 Aeroportos analisados

<b>Nº</b>	<b>Sigla</b>	<b>Aeroporto</b>	<b>Estado</b>	<b>Cidade</b>
1	SBRB	Rio Branco	AC	Rio Branco
2	SBMO	Maceió	AL	Maceió
3	SBEG	Manaus	AM	Manaus
4	SBMQ	Macapá	AP	Macapa
5	SBIL	Ilhéus	BA	Ilhéus
6	SBSV	Salvador	BA	Salvador
7	SBFZ	Fortaleza	CE	Fortaleza
8	SBBR	Brasília	DF	Brasília
9	SBVT	Vitória	ES	Vitória
10	SBGO	Goiânia	GO	Goiânia
11	SBSL	São Luis	MA	São Luis
12	SBBH	Pampulha	MG	Belo Horizonte
13	SBUL	Uberlândia	MG	Uberlândia
14	SBCF	Confins	MG	Belo Horizonte
15	SBCG	Campo Grande	MS	Campo Grande
16	SBCY	Cuiabá	MT	Cuiabá
17	SBBE	Belém	PA	Belém
18	SBMA	Marabá	PA	Marabá
19	SBJP	João Pessoa	PB	João Pessoa
20	SBRF	Recife	PE	Recife
21	SBTE	Teresina	PI	Teresina
22	SBCT	Curitiba	PR	Curitiba
23	SBLO	Londrina	PR	Londrina
24	SBFI	Foz Iguacu	PR	Foz Iguacu
25	SBGL	Galeão	RJ	Rio de Janeiro
26	SBME	Macaé	RJ	Macaé
27	SBRJ	Santos Dumont	RJ	Rio de Janeiro
28	SBNT	Natal	RN	Natal
29	SBPA	Porto Alegre	RS	Porto Alegre
30	SBFL	Florianópolis	SC	Florianópolis
31	SBJV	Joinville	SC	Joinville
32	SBNF	Navegantes	SC	Navegantes
33	SBAR	Aracaju	SE	Aracaju
34	SBSP	Congonhas	SP	São Paulo
35	SBGR	Guarulhos	SP	Guarulhos
36	SBKP	Viracopos	SP	Campinas

#### 4.4 Determinação dos pesos para cada critério

Os pesos dos critérios foram obtidos através de uma pesquisa realizada com cinco professores, que estão envolvidos ou com o transporte aéreo ou com o estudo do entorno de aeroportos brasileiros, da Divisão de Engenharia Civil do ITA. Participaram da pesquisa os seguintes profissionais:

- Prof. PhD Alessandro Vinícius Marques de Oliveira, Economista, PhD em Economia pela *University of Warwick*. Atua nas seguintes áreas: Economia dos Transportes, Regulação do Transporte Aéreo;
- Prof. Dr. Carlos Müller, Engenheiro, Doutorado em Engenharia de Transportes pela *University of California*. Atua nos seguintes temas: Planejamento e Operação de Aeroportos, Simulação, Terminal de Passageiros e Transporte Aéreo.
- Prof. Dr. Claudio Jorge Pinto Alves, Engenheiro, Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo ITA. Atua na área de Engenharia de Transportes com ênfase em Planejamento de Aeroportos.
- Prof. Dr. Emmanuel Antônio dos Santos, Arquiteto, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo pela USP. Atua nos seguintes temas: ambiente, plano diretor, planejamento urbano, projeto e evolução urbana,
- Prof. Dr. Rogéria de Arantes Gomes Eller, Economista, Doutorado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica pelo ITA. Atua nos seguintes temas: Economia Regional e Urbana, Aeroportos, Externalidades (ruído aeronáutico e emissões).

A pesquisa consistiu em uma combinação par a par entre os três critérios em análise, gerando assim três combinações. Os critérios foram ordenados de forma aleatória e dispostos como está apresentado na Tabela 4-3. Essa comparação foi baseada na comparação entre critérios do método de apoio à decisão AHP, porém sem a utilização da escala fundamental de Saaty (VIEIRA, 2006).

Os participantes da pesquisa tiveram que escolher qual a variável mais relevante no que tange o impacto do ruído aeronáutico no entorno do aeroporto em cada uma das comparações par a par.

Tabela 4-3 Pesquisa para determinação dos pesos dos critérios

<p>Comparação 1:</p> <p>( ) População Residente Dentro da Curva de Ruído de <math>L_{DN}=65</math> dB(A)</p> <p>( ) Quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00)</p> <p>Comparação 2:</p> <p>( ) Área da Curva de Ruído <math>L_{DN}=65</math> dB(A)</p> <p>( ) População Residente Dentro da Curva de Ruído de <math>L_{DN}=65</math> dB(A)</p> <p>Comparação 3:</p> <p>( ) Quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00)</p> <p>( ) Área da Curva de Ruído <math>L_{DN}=65</math> dB(A)</p>
--

A soma do resultado de todas as comparações dos pesquisados representa a preferência de um critério sobre o outro, assim, essas preferências são organizadas na forma de uma matriz quadrada, chamada matriz de importância dos critérios. Os elementos dessa matriz expressam o número de vezes em que um critério domina ou é dominado pelos demais. Cada elemento  $a_{ij}$  do vetor linha da matriz dominante representa a dominância de um critério  $A_i$  sobre o critério  $A_j$  (VIEIRA, 2006). A diagonal principal é preenchida com um valor estipulado para representar a não-dominância de um critério sobre o outro (valor 1). Sendo que essa matriz é recíproca ( $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Figura 4-1 Matriz de importância dos critérios VIEIRA (2006).

A partir da matriz de importância dos critérios, realiza-se sua normalização dividindo cada elemento da matriz pela soma de todos os elementos pertencentes a sua mesma coluna.

O vetor prioridade dos critérios é obtido com a média aritmética dos elementos que estão na mesma linha na matriz normalizada de importância dos critérios. Assim, esse vetor representa a preferência de um critério em relação a sua relevância no que tange o impacto gerado pelo ruído aeronáutico no entorno do aeroporto.

#### 4.5 Vetor prioridade dos aeroportos

Os dados dos critérios Área e População Residente Dentro da Curva II para os aeroportos em análise foram obtidos pelo estudo de Nogueira (2006), apresentados na Tabela 5-4. Já os dados da quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00) foram adquiridos pelo tratamento dos dados contidos no HOTRAN, disponibilizado pela ANAC atualizado no dia 15 de Setembro de 2009. O HOTRAN apresenta os horários dos vôos regulares autorizados pela ANAC para a operação das empresas de aviação civil no Brasil. Neste documento oficial, os vôos são autorizados para operar nos dias das semanas, assim, para se obter a quantidade total de vôos anuais, multiplicou-se a quantidade de vôos semanais por 52, que representa o número de semanas em um ano, assumindo-se, por simplificação, que não há variação no número de operações ao longo do ano.

A tabela dos dados utilizados na análise é também chamada de matriz de decisão (VIEIRA, 2006).

A partir da matriz de decisão, realiza-se sua normalização dividindo cada elemento da matriz pela soma de todos os elementos pertencentes a sua mesma coluna. Os elementos dessa tabela representam porcentagem em relação à soma total da medida de cada critério em análise.

O vetor prioridade dos aeroportos é definido com a normalização da matriz de decisão.

#### 4.6 Avaliação dos aeroportos em relação ao seu entorno

O valor da multiplicação do vetor prioridade dos aeroportos com o vetor prioridade dos critérios representa a pontuação de cada aeroporto em relação ao seu entorno de acordo com as premissas utilizadas. Assim, obtém-se uma hierarquização dos aeroportos por intermédio da pontuação recebida por cada aeroporto. Logo, o aeroporto que receber a maior pontuação nessa hierarquização é aquele cuja situação é a mais crítica em relação ao seu entorno no que tange o impacto do ruído aeronáutico.

## Capítulo 5 Apresentação e Análise de Resultados

Este capítulo apresentará os resultados e análises referentes à aplicação da metodologia descrita no capítulo anterior para se chegar ao objetivo principal do Trabalho: a hierarquização dos aeroportos brasileiros de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno.

O resultado da pesquisa de comparações par a par dos critérios é apresentado na Tabela 5-1. O elemento  $a_{21}$  (elemento da linha **População** e coluna **Área**) da matriz de importância dos critérios representa, para os pesquisados, que a importância do número de pessoas residentes dentro da curva II de ruído é quatro vezes maior que a importância da área da curva de ruído área  $L_{DN}=65$  dB(A) no estudo do impacto do ruído aeronáutico no entorno do aeroporto.

Notação utilizada para a identificação dos critérios nas tabelas:

- **Área:** Área da Curva de Ruído  $L_{DN}=65$  dB(A) ( $Km^2$ );
- **População:** População Residente Dentro da Curva de Ruído de  $L_{DN}=65$  dB(A);
- **Movimentações:** Quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

**Tabela 5-1 Matriz de importância dos critérios**

<b>Critérios</b>	<b>Área</b>	<b>População</b>	<b>Movimentações</b>
<b>Área</b>	1	1/4	1/4
<b>População</b>	4	1	2/3
<b>Movimentações</b>	4	3/2	1

A normalização da matriz de importância dos critérios é mostrada na Tabela 5-2.

**Tabela 5-2 Matriz normalizada de importância dos critérios**

<b>Critérios</b>	<b>Área</b>	<b>População</b>	<b>Movimentações</b>
<b>Área</b>	0,11	0,09	0,13
<b>População</b>	0,44	0,36	0,35
<b>Movimentações</b>	0,44	0,55	0,52

O vetor prioridade dos critérios, indicado na Tabela 5-3, é obtido com a média aritmética dos elementos que estão na mesma linha da matriz normalizada de importância dos critérios (Tabela 5-2). Assim, esse vetor representa a preferência de um critério em relação a sua relevância no que tange o impacto gerado pelo ruído aeronáutico no entorno do aeroporto numa escala de zero a um.

**Tabela 5-3 Vetor prioridade dos critérios**

<b>Critérios</b>	<b>Pesos</b>
<b>Área</b>	0,11
<b>População</b>	0,39
<b>Movimentações</b>	0,50

Os dados utilizados na análise estão indicados na Tabela 5-4. A matriz de decisão é composta pelos dados apresentados nessa tabela. Com esses dados, é possível ter um grau de magnitude do impacto do ruído no entorno dos aeroportos analisados.

Os aeroportos estão ordenados na Tabela 5-4 de acordo com a magnitude da População Dentro da Curva de Ruído de  $L_{DN}=65$  dB(A) atingida pelo ruído aeronáutico.

Tabela 5-4 Dados dos aeroportos analisados –Matriz de Decisão

Ordem	Sigla	Nome	Estado	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab.)	N <sup>o</sup> Movimentações Ano 2009
1	SBGR	Guarulhos	SP	21,7	94.333	44.148
2	SBRF	Recife	PE	5,2	25.320	14.300
3	SBSP	Congonhas	SP	3,0	20.169	12.480
4	SBCT	Curitiba	PR	7,0	11.827	9.256
5	SBFZ	Fortaleza	CE	3,9	11.438	11.908
6	SBSV	Salvador	BA	7,1	10.560	13.104
7	SBGL	Galeão	RJ	15,8	9.130	21.476
8	SBBE	Belém	PA	5,5	6.745	12.532
9	SBAR	Aracaju	SE	3,9	4.748	2.912
10	SBCY	Cuiabá	MT	3,3	3.569	6.500
11	SBGO	Goiânia	GO	4,3	3.527	3.484
12	SBBH	Pampulha	MG	4,0	3.345	988
13	SBMA	Marabá	PA	4,2	3.054	1.092
14	SBTE	Teresina	PI	0,7	2.427	2.184
15	SBIL	Ilhéus	BA	0,6	2.084	0
16	SBJV	Joinville	SC	0,5	2.068	0
17	SBCG	Campo Grande	MS	3,2	1.955	7.124
18	SBPA	Porto Alegre	RS	3,0	1.811	11.180
19	SBBR	Brasília	DF	12,7	1.687	16.588
20	SBMO	Maceió	AL	5,9	1.686	4.680
21	SBNT	Natal	RN	5,4	1.278	5.720
22	SBVT	Vitória	ES	1,8	921	3.900
23	SBMQ	Macapá	AP	0,7	752	2.808
24	SBLO	Londrina	PR	1,4	612	1.456
25	SBEG	Manaus	AM	6,4	544	11.544
26	SBKP	Viracopos	SP	1,4	406	11.492
27	SBJP	João Pessoa	PB	3,4	401	2.912
28	SBNF	Navegantes	SC	0,6	324	0
29	SBRJ	Santos Dumont	RJ	0,7	245	12.116
30	SBSL	São Luis	MA	0,5	241	4.992
31	SBUL	Uberlândia	MG	0,6	234	1.872
32	SBME	Macaé	RJ	1,7	202	0
33	SBFL	Florianópolis	SC	1,9	74	5.980
34	SBRB	Rio Branco	AC	0	0	728
35	SBFI	Foz Iguaçu	PR	0	0	1.820
36	SBCF	Confins	MG	0	0	12.324
<b>Soma total</b>				<b>142,0</b>	<b>227.717</b>	<b>275.600</b>

Está apresentada na Tabela 5-5 a normalização da matriz de decisão (Tabela 5-4). A matriz de decisão normalizada é denominada Vetor Prioridade dos Aeroportos. Os elementos da matriz normalizada representam a porcentagem em relação à soma total dos dados de um determinado critério em análise. O Aeroporto de Internacional de Guarulhos/São Paulo possui

41,4% do número total de pessoas residentes dentro da curva de ruído de LDN=65 dB(A), esse valor é bem significativo em relação a soma total de pessoas residentes nos 36 aeroportos analisados.

**Tabela 5-5 Matriz de Decisão Normalizada – Vetor prioridade dos aeroportos**

<b>Ordem</b>	<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>	<b>Estado</b>	<b>Área (%)</b>	<b>População (%)</b>	<b>Nº Movimentações Ano 2009 (%)</b>
1	SBGR	Guarulhos	SP	15,3	41,4	16,0
2	SBRF	Recife	PE	3,7	11,1	5,2
3	SBSP	Congonhas	SP	2,1	8,9	4,5
4	SBCT	Curitiba	PR	4,9	5,2	3,4
5	SBFZ	Fortaleza	CE	2,7	5,0	4,3
6	SBSV	Salvador	BA	5,0	4,6	4,8
7	SBGL	Galeão	RJ	11,1	4,0	7,8
8	SBBE	Belém	PA	3,9	3,0	4,5
9	SBAR	Aracaju	SE	2,7	2,1	1,1
10	SBCY	Cuiabá	MT	2,3	1,6	2,4
11	SBGO	Goiânia	GO	3,0	1,5	1,3
12	SBBH	Pampulha	MG	2,8	1,5	0,4
13	SBMA	Marabá	PA	2,9	1,3	0,4
14	SBTE	Teresina	PI	0,5	1,1	0,8
15	SBIL	Ilhéus	BA	0,4	0,9	0
16	SBJV	Joinville	SC	0,4	0,9	0
17	SBCG	Campo Grande	MS	2,3	0,9	2,6
18	SBPA	Porto Alegre	RS	2,1	0,8	4,1
19	SBBR	Brasília	DF	9,0	0,7	6,0
20	SBMO	Maceió	AL	4,2	0,7	1,7
21	SBNT	Natal	RN	3,8	0,6	2,1
22	SBVT	Vitória	ES	1,3	0,4	1,4
23	SBMQ	Macapá	AP	0,5	0,3	1,0
24	SBLO	Londrina	PR	1,0	0,3	0,5
25	SBEG	Manaus	AM	4,5	0,2	4,2
26	SBKP	Viracopos	SP	1,0	0,2	4,2
27	SBJP	João Pessoa	PB	2,4	0,2	1,1
28	SBNF	Navegantes	SC	0,4	0,1	0
29	SBRJ	Santos Dumont	RJ	0,5	0,1	4,4
30	SBSL	São Luís	MA	0,3	0,1	1,8
31	SBUL	Uberlândia	MG	0,4	0,1	0,7
32	SBME	Macaé	RJ	1,2	0,1	0
33	SBFL	Florianópolis	SC	1,3	0,0	2,2
34	SBCF	Confins	MG	0	0	4,5
35	SBFI	Foz Iguaçu	PR	0	0	0,7
36	SBRB	Rio Branco	AC	0	0	0,3

Está apresentado na Tabela 5-6 o resultado da multiplicação da matriz de decisão normalizada (vetor prioridade dos aeroportos - Tabela 5-5) pelo vetor de prioridade dos critérios (Tabela 5-3). Esse valor representa a pontuação de cada aeroporto em relação ao seu entorno, de acordo com as premissas utilizadas. Quanto maior a pontuação de um aeroporto mais crítica é a situação deste em relação ao seu entorno no que tange o impacto do ruído aeronáutico na operação de aeronaves.

Portanto, a Tabela 5-6 representa a hierarquização dos aeroportos analisados em relação ao impacto do ruído aeronáutico no entorno. Pode-se verificar a mudança na ordem dos aeroportos em relação à Tabela 5-4, isso é devido à aplicação da metodologia sugerida neste trabalho. Essa comparação será discutida no próximo item deste capítulo.

O Aeroporto de Internacional de São Paulo/Guarulhos que obteve a pontuação 0,257 representa o aeroporto com a situação mais crítica em relação ao seu entorno. O impacto causado pela operação de Guarulhos é maior em todos os critérios analisados (área da curva de ruído, população residente dentro da curva de ruído e quantidade de aeronaves no período noturno).

É interessante notar na Tabela 5-6 que o Aeroporto de São Paulo/Congonhas está na 4<sup>o</sup> posição mesmo tendo as suas movimentações de aeronaves restringidas no período noturno (22:00 – 7:00). As movimentações desse aeroporto são vetadas no período de 23:00 às 6:00, porém a movimentação anual no período de 22:00 às 23:00 e de 6:00 às 7:00 é bastante expressiva, 12.480 movimentações (Tabela 5-4).

Tabela 5-6 Hierarquização dos aeroportos em relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno

Ordem	Sigla	Nome	Estado	Pontuação
1	SBGR	Guarulhos	SP	0,257
2	SBRF	Recife	PE	0,073
3	SBGL	Galeão	RJ	0,067
4	SBSP	Congonhas	SP	0,059
5	SBSV	Salvador	BA	0,047
6	SBFZ	Fortaleza	CE	0,044
7	SBBR	Brasília	DF	0,043
8	SBCT	Curitiba	PR	0,042
9	SBBE	Belém	PA	0,039
10	SBEG	Manaus	AM	0,027
11	SBPA	Porto Alegre	RS	0,026
12	SBRJ	Santos Dumont	RJ	0,023
13	SBKP	Viracopos	SP	0,023
14	SBCF	Confins	MG	0,023
15	SBCY	Cuiabá	MT	0,020
16	SBCG	Campo Grande	MS	0,019
17	SBNT	Natal	RN	0,017
18	SBAR	Aracaju	SE	0,016
19	SBMO	Maceió	AL	0,016
20	SBGO	Goiânia	GO	0,016
21	SBFL	Florianópolis	SC	0,013
22	SBBH	Pampulha	MG	0,011
23	SBMA	Marabá	PA	0,010
24	SBVT	Vitória	ES	0,010
25	SBSL	São Luís	MA	0,010
26	SBTE	Teresina	PI	0,009
27	SBJP	João Pessoa	PB	0,009
28	SBMQ	Macapá	AP	0,007
29	SBLO	Londrina	PR	0,005
30	SBUL	Uberlândia	MG	0,004
31	SBIL	Ilhéus	BA	0,004
32	SBJV	Joinville	SC	0,004
33	SBFI	Foz Iguacu	PR	0,003
34	SBME	Macaé	RJ	0,002
35	SBRB	Rio Branco	AC	0,001
36	SBNF	Navegantes	SC	0,001

## 5.1 Comparação com os resultados da COPPE/UFRJ

No trabalho de Nogueira (2006), existem duas metodologias de hierarquização principais em relação ao impacto gerado pelo ruído aeronáutico no entorno dos aeroportos. A primeira classificação é relacionada com o número de pessoas residentes na área da curva de ruído  $L_{DN}=65$  dB(A), que está apresentado na Tabela 5-7, e a segunda está correlacionada com a área da curva de ruído  $L_{DN}=65$  dB(A). Na segunda classificação aplicou-se a Lógica Fuzzy para comparação e o resultado desta análise está indicado na Tabela 5-8.

Pode-se notar que as classificações apresentadas neste trabalho e as obtidas por Nogueira (2006) são bastantes similares. As diferenças entre as classificações estão relacionadas com a análise de um novo critério, a quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00), e a adoção de diferentes metodologias de análise. Neste trabalho foi utilizada uma metodologia baseada na estrutura do método de apoio à decisão AHP e, no de Nogueira (2006), a Lógica Fuzzy. A comparação entre os resultados obtidos por esses três métodos de análise está apresentada na Tabela 5-9.

Verifica-se que a classificação obtida neste trabalho é uma composição entre as duas classificações obtidas por Nogueira (2006) acrescida pela análise de um terceiro critério: a quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00).

**Tabela 5-7 Hierarquização dos aeroportos em relação ao número de pessoas residentes dentro da curva de ruído  $L_{DN}=65$  dB(A), segundo Nogueira (2006).**

<b>Ordem</b>	<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>	<b>Estado</b>	<b>População (hab.)</b>
1	SBGR	Guarulhos	SP	94.333
2	SBRF	Recife	PE	25.320
3	SBSP	Congonhas	SP	20.169
4	SBCT	Curitiba	PR	11.827
5	SBFZ	Fortaleza	CE	11.438
6	SBSV	Salvador	BA	10.560
7	SBGL	Galeão	RJ	9.130
8	SBBE	Belém	PA	6.745
9	SBAR	Aracaju	SE	4.748
10	SBCY	Cuiabá	MT	3.569
11	SBGO	Goiânia	GO	3.527
12	SBBH	Pampulha	MG	3.345
13	SBJC	Júlio César	PA	3.331
14	SBMA	Marabá	PA	3.054
15	SBTE	Teresina	PI	2.427
16	SBIL	Ilhéus	BA	2.084
17	SBJV	Joinville	SC	2.068
18	SBCG	Campo Grande	MS	1.955
19	SBPA	Porto Alegre	RS	1.811
20	SBBR	Brasília	DF	1.687
21	SBMO	Maceió	AL	1.686
22	SBNT	Natal	RN	1.278
23	SBCM	Campo de Marte	SP	1.127
24	SBVT	Vitória	ES	921
25	SBMQ	Macapá	AP	752
26	SBLO	Londrina	PR	612
27	SBEG	Manaus	AM	544
28	SBKP	Viracopos	SP	406
29	SBJP	João Pessoa	PB	401
30	SBNF	Navegantes	SC	324
31	SBRJ	Santos Dumont	RJ	245
32	SBSL	São Luis	MA	241
33	SBUL	Uberlândia	MG	234
34	SBME	Macaé	RJ	202
35	SBBI	Bacacheri	PR	124
36	SBFL	Florianópolis	SC	74
37	SBJR	Jacarépaguá	RJ	38
38	SBCF	Confins	MG	-
39	SBFI	Foz Iguaçu	PR	-
40	SBRB	Rio Branco	AC	-

**Tabela 5-8 Hierarquização dos aeroportos quanto ao risco de impacto ambiental sonoro para a área da curva de ruído descontado plano de água após a aplicação de Lógica Fuzzy, conforme apresentado por Nogueira (2006)**

<b>Ordem</b>	<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>	<b>Estado</b>	<b>Classificação Fuzzy</b>
1	SBGR	Guarulhos	SP	98,98
2	SBGL	Galeão	RJ	35,47
3	SBRF	Recife	PE	24,81
4	SBCT	Curitiba	PR	20,68
5	SBSV	Salvador	BA	20,07
6	SBBR	Brasília	DF	20,02
7	SBSP	Congonhas	SP	16,73
8	SBBE	Belém	PA	14,39
9	SBFZ	Fortaleza	CE	14,36
10	SBMO	Maceió	AL	10,45
11	SBAR	Aracaju	SE	10,09
12	SBGO	Goiânia	GO	9,84
13	SBEG	Manaus	AM	9,31
14	SBMA	Marabá	PA	9,20
15	SBBH	Pampulha	MG	9,18
16	SBNT	Natal	RN	9,09
17	SBCY	Cuiabá	MT	8,14
18	SBCG	Campo Grande	MS	6,63
19	SBPA	Porto Alegre	RS	6,14
20	SBJP	João Pessoa	PB	5,02
21	SBJC	Júlio César	PA	3,75
22	SBVT	Vitória	ES	3,45
23	SBMT	Campo de Marte	SP	2,51
24	SBTE	Teresina	PI	2,48
25	SBLO	Londrina	PR	2,43
26	SBME	Macaé	RJ	2,33
27	SBFL	Florianópolis	SC	2,33
28	SBKP	Campinas	SP	2,25
29	SBIL	Ilhéus	BA	2,03
30	SBJV	Joinville	SC	1,77
31	SBMQ	Macapá	AP	1,52
32	SBRJ	Santos Dumont	RJ	1,05
33	SBNF	Navegantes	SC	0,88
34	SBUL	Uberlândia	MG	0,81
35	SBSL	São Luis	MA	0,69
36	SBJR	Jacarepaguá	RJ	0,26
37	SBBI	Bacacheri	PR	0,17

**Fonte: Nogueira, 2006.**

Tabela 5-9 Comparação entre os resultados deste trabalho e o de Nogueira (2006)

Sigla	Nome	Estado	População (hab.) <sup>(1)</sup>	Lógica Fuzzy <sup>(2)</sup>	Resultado deste Trabalho <sup>(3)</sup>
SBGR	Guarulhos	SP	1	1	1
SBRF	Recife	PE	2	3	2
SBGL	Galeão	RJ	7	2	3
S BSP	Congonhas	SP	3	7	4
SBSV	Salvador	BA	6	5	5
SBFZ	Fortaleza	CE	5	9	6
SBBR	Brasília	DF	20	6	7
SBCT	Curitiba	PR	4	4	8
SBBE	Belém	PA	8	8	9
SBEG	Manaus	AM	27	13	10
SBPA	Porto Alegre	RS	19	19	11
SBRJ	Intos Dumo	RJ	31	32	12
SBKP	Viracopos	SP	28	28	13
SBCF	Confins	MG	38	-	14
SBCY	Cuiabá	MT	10	17	15
SBCG	ampo Granc	MS	18	18	16
SBNT	Natal	RN	22	16	17
SBAR	Aracaju	SE	9	11	18
SBMO	Maceió	AL	21	10	19
SBGO	Goiânia	GO	11	12	20
SBFL	lorianópolis	SC	36	27	21
SBBH	Pampulha	MG	12	15	22
SBMA	Marabá	PA	14	14	23
SBVT	Vitória	ES	24	22	24
SBSL	São Luis	MA	32	35	25
SBTE	Teresina	PI	15	24	26
SBJP	João Pessoa	PB	29	20	27
SBMQ	Macapá	AP	25	31	28
SBLO	Londrina	PR	26	25	29
SBUL	Uberlândia	MG	33	34	30
SBIL	Ilhéus	BA	16	29	31
SBJV	Joinville	SC	17	30	32
S BFI	Foz Iguaçu	PR	39	-	33
SBME	Macaé	RJ	34	26	34
SBRB	Rio Branco	AC	40	-	35
SBNF	Navegantes	SC	30	33	36

(1) Resultado obtido por Nogueira (2006) na hierarização utilizando o critério de número de habitantes na Área de Ruído  $L_{DN}=65$  dB(A).

(2) Resultado obtido por Nogueira (2006) utilizando a Lógica Fuzzy.

(3) Resultado obtido com a metodologia sugerida neste trabalho.

## Capítulo 6 Considerações Finais

O trabalho atingiu seu objetivo inicial que era de analisar as áreas no entorno de aeroportos brasileiros e definir uma metodologia de comparação para hierarquização dos aeroportos analisados de acordo com a situação das áreas em seu entorno.

A nova metodologia de análise baseada na estrutura do método de apoio à decisão AHP mostrou-se bastante eficiente ao se comparar com a hierarquização dos aeroportos em relação ao impacto do ruído aeronáutico no entorno obtido por Nogueira (2006).

As diferenças entre as classificações estão relacionados com a análise de um novo critério, a quantidade de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00), e a adoção de diferentes metodologias de análise. Neste trabalho foi utilizada uma metodologia baseada na estrutura do método de apoio à decisão AHP e, no de Nogueira (2006), a Lógica Fuzzy.

Os quatro aeroportos mais críticos em relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno são: Aeroporto Internacional de Guarulhos/São Paulo, Aeroporto Internacional de Recife, Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão, Aeroporto de São Paulo/Congonhas. Esses quatro aeroportos foram os que obtiveram maiores pontuações de acordo com os critérios utilizados neste Trabalho. Os aeroportos que obtiveram menor pontuação são os que não possuem problemas com relação ao seu entorno: Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu/Cataratas, Aeroporto de Macaé, Aeroporto Internacional de Rio Branco, Aeroporto Internacional de Navegantes. A pontuação recebida por cada aeroporto é um número somente utilizado na hierarquização dos aeroportos e não é uma relação entre direta com os problemas gerados pelo ruído aeronáutico. A situação do entorno de um aeroporto que recebeu pontuação 0,1 não é 10 vezes mais crítica a que um aeroporto com pontuação 0,01.

A classificação dos aeroportos quanto ao impacto sonoro é uma importante ferramenta que pode ser útil para respaldar a tomada de decisão dos atores envolvidos no setor aéreo para estabelecer medidas emergenciais de controle do ruído aeronáutico em um grupo de aeroportos, priorizar a elaboração de estudos para o controle do ruído aeroportuário em um determinado aeroporto e priorizar investimentos.

O estudo dos impactos gerados pelo ruído aeronáutico no entorno dos aeroportos é muito importante, pois essa externalidade é considerada o principal problema ambiental gerado na operação dos aeroportos, porque afeta diretamente a qualidade de vida de um grande número de pessoas que residem nas suas proximidades e que, em geral, não são beneficiadas diretamente pelas atividades aeroportuárias.

Algumas recomendações podem ser feitas para futuras continuações deste trabalho:

- O estudo detalhado do entorno de cada aeroporto analisado neste trabalho;
- Estudo de medidas práticas para a mitigação do impacto do ruído aeronáutico no entorno de cada aeroporto analisado;
- A eficiência das curvas de ruído 1 e 2 ( $L_{DN} = 65$  dB(A) e  $L_{DN} = 75$  dB(A), respectivamente) quanto à delimitação das zonas com problemas;
- Medições in-situ para verificação da posição real das curvas de ruído;
- Estudo de padrões e de formas de gestão do uso e da ocupação dos solos no entorno dos aeroportos.

## Referências Bibliográficas

ANAC. **HOTRAN** – Horários de Transporte da Aviação Civil Regular. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/hotran/>>. Acesso em 15 de Setembro de 2009.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. Portaria N<sup>o</sup> 1.141/GM5 de 8 de dezembro de 1987. Dispõe sobre Zonas de Proteção e Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, Plano Básico de Zoneamento de Ruído, Plano de Zona de Proteção de Helipontos e Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, v. 125, n. 233, p. 21190-98, 09 Dez. 1987. Seção 1.

CONAMA. **Resolução CONAMA. N<sup>o</sup> 001**. Dispõe sobre a Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. 1986.

ELLER, Rogéria de Arantes Gomes. **O Ruído Aeronáutico Como Fator de Perda de Valor dos Imóveis Residenciais – O Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo**. 2000. Tese (Mestre em Ciência). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, São José dos Campos.

FILHO, Cícero Rodrigues de Melo. **Evolução do Transporte Aéreo no Brasil e no Mundo no período de 2001 a 2007**. . In: VII SITRAER, 2008, Rio de Janeiro. p. 609-616.

HORONJEFF, R.; Mckelvey, F. **Planning and Design of Airports**. New York: Fouth edition, MacGraw-Hill. 1993.

IAC – Instituto de Aviação Civil. **Manual de Implementação de Aeroportos**. 2004.

IATA. **World Air Transport Statistics: Special Edition**. 50th edition, 2006. Disponível em: <[http://www.iata.org/ps/intelligence\\_statistics/](http://www.iata.org/ps/intelligence_statistics/)> Acesso em 05 de Novembro de 2009.

ICAO. **Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management**. 2004

INFRAERO. **Relatório Ambiental 2003/2004**. 2004.

NOGUEIRA, Rita de C. C. **Hierarquização dos Aeroportos segundo o impacto ambiental sonoro**. Infraero, 2006. Disponível em:

<<http://wservices.infraero.gov.br/upload/arquivos/meio/apresentacaoritanogueira.pdf>>.

Acesso em: 05 de Nov. 2009.

TAVARES, Marilda dos Santos. **Desenvolvimento de um Sistema para Avaliar o Processo do Uso do Solo no Entorno dos Aeroportos**. 106p. 2003. Tese de Mestrado. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília.

VALIM, Fernanda Caixeta. **Análise das Diferentes Formas de Atenuação do Ruído Aeronáutico**. 155p. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Departamento

de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília.

VIEIRA, Gabriela Heimbach. **Análise e Comparação dos Métodos de Decisão Multicritério AHP Clássico e Multiplicativo**. 53f. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

**FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO**

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p align="center">TC</p>	2. DATA <p align="center">04 de novembro de 2009</p>	3. REGISTRO N° <p align="center">CTA/ITA/TC-094/2009</p>	4. N° DE PÁGINAS <p align="center">53</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise do Impacto do Ruído Aeronáutico em 36 Aeroportos Brasileiros			
6. AUTOR (ES): <b>Thiago Pimentel Nykiel</b>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Entorno de Aeroportos Brasileiros, Ruído Aeronáutico, Hierarquização de Aeroportos			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Aeroportos; Ruído de aeronaves; Redução de ruído; Sistemas de apoio à decisão; Classificação de padrões; Administração de transportes; Transporte aéreo; Brasil; Transportes			
10. APRESENTAÇÃO: <p align="center"><b>X Nacional      Internacional</b></p> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Prof. Dr. Maryangela Geimba de Lima; co-orientador: Prof. Dr. Emmanuel Antonio dos Santos. Publicado em 2009.			
11. RESUMO: A proposta principal deste Trabalho é analisar aeroportos brasileiros sob a ótica da ocupação das áreas no seu entorno e definir uma metodologia de comparação, baseado na estrutura do método de apoio à decisão AHP, a fim de ranquear os aeroportos de acordo com o impacto do ruído aeronáutico em seu entorno. Foram hierarquizados 36 aeroportos da Rede Infraero baseado em uma metodologia de comparação com três critérios: área urbana afetada pelas curvas de ruído do aeroporto, número de habitantes dentro das curvas de ruído e número de movimentações de aeronaves no período noturno (22:00 – 7:00). A classificação dos aeroportos quanto ao impacto sonoro é uma importante ferramenta que pode ser útil para respaldar a tomada de decisão dos atores envolvidos no setor aéreo para estabelecer medidas emergenciais de controle do ruído aeronáutico em um grupo de aeroportos, priorizar a elaboração de estudos para o controle do ruído aeroportuário em um determinado aeroporto e priorizar investimentos. Os quatro aeroportos mais críticos em relação ao impacto do ruído aeronáutico em seu entorno, de acordo com a metodologia aplicada neste Trabalho, são: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeroporto Internacional de Guarulhos/São Paulo;</li> <li>• Aeroporto Internacional de Recife;</li> <li>• Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão;</li> <li>• Aeroporto de São Paulo/Congonhas.</li> </ul>			
12. GRAU DE SIGILO: <b>(X) OSTENSIVO      ( ) RESERVADO      ( ) CONFIDENCIAL      ( ) SECRETO</b>			