



COPPE/UFRJ

**FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
EQUILIBRADA EM AEROPORTOS BRASILEIROS.**

Luiz André de Carvalho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Jules Ghislain Slama

Rio de Janeiro

Abril de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
EQUILIBRADA EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Luiz André de Carvalho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA MECÂNICA.

Examinada por:

Prof. Jules Ghislain Slama, D.Sc.

Prof. Max Suell Dutra, Dr. -Ing.

Prof. Webe João Mansur, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL.

ABRIL DE 2010

Carvalho, Luiz André De

Ferramentas de Auxílio à Aplicação da Abordagem Equilibrada em Aeroportos Brasileiros / Luiz André de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XVIII, 136 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jules Ghislain Slama

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Mecânica, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 119-121.

1. Ruído aeronáutico e suas implicações. 2. Indicadores de desbalanceamento sonoro. 3. Coeficientes de sensibilidade. I. Slama, Jules Ghislain. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Mecânica. III. Título.

A DEUS,
que tornou tudo possível.

Aos meus pais, Luiz Carlos e Maria de Nazaré.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Jules Ghislain Slama, meu orientador, pelas oportunidades que me deu no início e no decorrer do curso de mestrado.

Aos meus amigos da pós: Luiz Carlos Gomes de Alcântara, Raphael de Carvalho Ferreira, Tarcilene Aparecida Heleno, Rafael de Freitas Magina, Roberto Barreto de Moraes, Adriano Belieny e Ana Paula Gama; pela ajuda que me deram no decorrer do mestrado.

Aos professores e funcionários da COPPE, em especial aos do Programa de Engenharia Mecânica.

Aos meus pais e família, por terem acompanhado e compreendido as minhas dificuldades.

A CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À APLICAÇÃO DA ABORDAGEM
EQUILIBRADA EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Luiz André de Carvalho

Abril/2010

Orientador: Jules Ghislain Slama

Programa: Engenharia Mecânica

Neste trabalho são apresentadas duas ferramentas que podem ser utilizadas no controle de ruído aeroportuário de acordo com a abordagem equilibrada: o Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS) e os Coeficientes de Sensibilidade.

O IDS é um valor indicador representativo de quanto um aeroporto está desbalanceado em relação a sua condição ideal. O objetivo do IDS é ajudar na identificação daqueles aeroportos que precisam priorizar ações de mitigação para ruído de aeronaves.

Os coeficientes de sensibilidade são ferramentas de apoio em processos decisórios em análise de sensibilidade, no âmbito da gestão do ruído no entorno de aeroportos. Os Estudos de Sensibilidade em controle de ruído aeroportuário são conduzidos com base em análises comparativas, entre os resultados obtidos em simulações acústicas de cenários alternativos e um cenário de referência, tendo por critérios de seleção, os índices de impacto sonoro sobre a população.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

TOOLS OF HELP TO THE APPLICATION OF THE APPROACH BALANCED IN
BRAZILIAN AIRPORTS

Luiz André de Carvalho

April/2010

Advisor: Jules Ghislain Slama

Department: Mechanical Engineering

This paper presents two tools that can be used to control airport noise in accordance with the balanced approach: the indicator of Sound imbalance (IDS) and the sensitivity coefficients.

The IDS is a value representative indicator of how an airport is unbalanced in relation to its ideal condition. The goal of IDS is to help in identifying those airports that need to prioritize actions for mitigation of noise from aircraft.

The sensitivity coefficients are a tool to support decision making in sensibility analysis in the context of the management of noise in the neighborhood of airports. They are based on sensitivity studies in airport noise control are conducted based on comparative analysis between the results obtained in acoustic simulations of alternative scenarios and a reference scenario, having for selection criteria, rates of noise impact on the population.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1.1 <i>Introdução</i>	1
1.1.1 <i>Abordagem Equilibrada</i>	2
1.2 <i>Definição do Problema</i>	2
1.3 <i>Hipótese</i>	2
1.4 <i>Justificativa</i>	3
1.5 <i>Objetivo da Dissertação</i>	3
1.6 <i>Estrutura da Dissertação</i>	3

CAPÍTULO 2

ACÚSTICA APLICADA AO RUÍDO AERONÁUTICO	5
2.1 <i>Apresentação</i>	5
2.2 <i>Fundamentos da acústica</i>	5
2.2.1 <i>O Som</i>	5
2.2.2 <i>Amplitude e Decibel</i>	6
2.2.3 <i>Soma de Níveis de Pressão Sonora</i>	7
2.2.4 <i>Frequência</i>	7
2.2.5 <i>Timbre</i>	8
2.2.6 <i>Audibilidade</i>	8
2.2.7 <i>Medição de Ruído Ambiental: Descritores de Sons</i>	10
2.2.8 <i>Filtros de ponderação</i>	10
2.2.9 <i>Nível Equivalente de Ruído - L_{eq}</i>	12
2.2.10 <i>Nível de Exposição Sonora – <i>Sound Exposure Level</i> – SEL ou L_{AE}</i>	13

CAPÍTULO 3

INM E AS MÉTRICAS DE INCÔMODO SONORO	14
3.1 <i>Relação entre o impacto ambiental sonoro e o número de incomodados</i>	14
3.2 <i>EPA</i>	16

3.3 <i>O caso brasileiro</i>	17
3.4 <i>Modelo Integrado de Ruído - INM</i>	19
3.4.1 Apresentação do INM 7.0.....	19
3.4.2 Descrição do Modelo.....	25
3.4.3 Da Aplicação do INM 7.0.....	26
CAPÍTULO 4	
LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL SOBRE RUIDO AERONÁUTICO	28
4.1 <i>O Papel da ICAO</i>	28
4.2 <i>Classificações das aeronaves</i>	30
4.2.1 Padrões – Capítulo 3.....	33
4.2.2 Padrões – Capítulo 4.....	34
4.3 <i>O papel da ICAO e a Abordagem Equilibrada</i>	36
CAPÍTULO 5	
INDICADOR DE DESBALANCEAMENTO SONORO.....	40
5.1 <i>Critérios de Seleção de Aeroportos</i>	40
5.2 <i>Fatores de Equivalência entre aeronaves</i>	42
5.3 <i>O cálculo de Δ para identificar a relação entre voos noturnos e diurnos nos aeroportos</i>	42
5.3.1 Relação entre DNL, L_{AeqD} e L_{AeqN}	42
5.4 <i>Ferramenta proposta</i>	45
5.4.1 Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS).....	45
CAPÍTULO 6	
QUANTIFICAÇÃO DE PESSOAS RESIDENTES DENTRO DA ÁREA DA CURVA DE RUIDO DNL 65dB(A)	52
6.1 <i>Impacto ambiental</i>	52
6.1.1 Aeroporto de Congonhas	52
6.1.2 Aeroporto de Recife	57
6.1.3 Aeroporto de Pampulha.....	61

6.1.4 Aeroporto de Curitiba.....	62
----------------------------------	----

CAPÍTULO 7

7.1 <i>Análise de sensibilidade</i>	66
7.2 <i>Estudos de sensibilidade</i>	67
7.3 <i>Análise de sensibilidade e coeficientes</i>	68
7.4 <i>Aplicação para ruído aeroportuário</i>	69
7.5 <i>Coefficientes de Sensibilidade Absoluta</i>	70
7.6 <i>Coefficiente de Variação Relativa baseado no AEM</i>	71
7.7 <i>Procedimentos operacionais para redução de ruído e restrições operacionais para aeronaves</i>	71

CAPÍTULO 8

ESTUDO DE CASO.....	74
8.1 <i>Congonhas</i>	74
8.1.1 Parte 1: Abordagem Clássica	74
8.1.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de Sensibilidades Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4	78
8.1.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi / \Phi = 0,17$	79
8.1.4 Análise de Resultados - SBSP	80
8.2 <i>Recife</i>	82
8.2.1 Parte 1: Abordagem Clássica	82
8.2.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de sensibilidade Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4	85
8.2.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi / \Phi = 0,17$	86
8.2.4 Análise de Resultados - SBRF	86
8.3 <i>Curitiba</i>	88
8.3.1 Parte 1: Abordagem Clássica	88
8.3.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4	91

8.3.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi / \Phi = 0,17$	92
8.3.4 Análise de Resultados - SBCT	92
8.3.5 Aplicação dos Coeficientes de Sensibilidade Absoluta.....	94
8.3.6 Proposição de Mudanças de Rotas para o Aeroporto de Curitiba.....	96
8.3.7 Utilização do LAeqD e LAeqN como Métricas Alternativas ao DNL	102
8.3.7.1 Aplicação das Métricas LAeqD e LAeqN no Aeroporto de Curitiba.....	104

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES E SUGESTÕES	108
APÊNDICE 1	110
A.1 Aeroporto de Recife	111
APÊNDICE 2	112
A.2 Aeroporto de Congonhas	113
APÊNDICE 3	115
A.3 Aeroporto de Pampulha	116
APÊNDICE 4	117
A.4 Aeroporto de Curitiba.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO 1	122
A.1 SBFL - PEZR.....	123
ANEXO 2	124
A.2 Legislação Aplicada ao Aeroporto de Recife	125
ANEXO 3	129
A.3 Análise da Legislação Ambiental relativa à poluição sonora pertinente aplicável ao aeroporto de Congonhas - SBSP	130
ANEXO 4	135
A.4 SBCT Pistas	136

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Curvas de Fletcher e Munson	09
FIGURA 2.2 – Curvas dos filtros A, B, C, D, E e SI	11
FIGURA 2.3 – Faixa típica de sons comuns	12
FIGURA 3.1 – Percentual de pessoas incomodadas.....	17
FIGURA 3.2 – Esquema de Interpolação Linear	22
FIGURA 3.3 – Definição dos parâmetros geométricos	24
FIGURA 3.4 – Diagrama de Fluxo do INM	26
FIGURA 4.1 – Crescimento da capacidade sem aumento de ruído	28
FIGURA 4.2 – Os níveis de ruídos de modelos de aeronaves comerciais dentro de um período de tempo	29
FIGURA 4.3 – Pontos de Referência - <i>Approach</i>	31
FIGURA 4.4 – Pontos de Referência - <i>Sideline / lateral</i>	32
FIGURA 4.5 – Pontos de Referência - <i>Flyover</i>	32
FIGURA 4.6 – Contribuições totais de componentes típicos para o ruído de uma aeronave moderna <i>turbofanpowered</i>	34
FIGURA 4.7 – Os progressos realizados na redução de ruído na fonte desde a implementação das normas do ruído de aeronaves	36
FIGURA 5.1 – Caracterização dos aeroportos	45
FIGURA 6.1 – Aeroporto de Congonhas.....	52
FIGURA 6.2 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e as pistas do Aeroporto de Congonhas	53
FIGURA 6.3 – Aeroporto de Recife	57
FIGURA 6.4 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Recife	58
FIGURA 6.5 – Aeroporto de Pampulha.....	61
FIGURA 6.6 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Pampulha.....	61
FIGURA 6.7 – Aeroporto de Curitiba	63
FIGURA 6.8 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65db(A) e as pistas do aeroporto de Curitiba	63
FIGURA 8.1 – Áreas de Contornos de Ruído para DNL 65dB(A)	77
FIGURA 8.2 – Gráfico Comparativo entre $x(0)$ e $x(3)$	82

FIGURA 8.3 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A).....	84
FIGURA 8.4 – Gráfico Comparativo entre x(1) e x(4)	88
FIGURA 8.5 – Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A).....	90
FIGURA 8.6 – Gráfico Comparativo entre todos os cenários propostos	94
FIGURA 8.7 – Gráfico Comparativo entre as áreas estudadas	95
FIGURA 8.8 – Resultado da nova curva para a mudança de rota.....	98
FIGURA 8.9 – Nova área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Curitiba. Aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil	99
FIGURA 8.10 – Informações geográficas do aeroporto de Curitiba.....	101
FIGURA 8.11 – Resultado comparativo entre as curvas estudadas	102
FIGURA 8.12 – Resultado comparativo entre a métrica estudada e as métricas propostas	104
FIGURA 8.13 – Área de contorno de ruído para LAeqN 55dB(A) e a pista do aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil.....	105

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 3.1 - Porcentagem prevista de gente altamente incomodada por níveis de ruído de aeronaves.	14
TABELA 3.2 - Percentual de População Altamente Incomodada por Schultz e pela USAF	15
TABELA 3.3 - Percentual de População Altamente Incomodada para diversas agências ambientais.....	16
TABELA 3.4 - Reação Comunidades Esperada em Função do IPR.....	19
TABELA 3.5 – Formato dos dados de ruído: L_{AE} como uma função de uma distância próxima d e o ajuste de potência do motor P	21
TABELA 3.6 – Amostra de dados NPD para uma aeronave 757PW com um motor PPW2037.....	23
TABELA 5.1 - Grupo 1 – Aeroportos Brasileiros.....	40
TABELA 5.2 - Aeroportos Brasileiros Escolhidos	41
TABELA 5.3 - movimentos equivalentes a período de 24 horas pela classificação da ICAO.....	42
TABELA 5.4 – Informações sobre os Aeroportos	48
TABELA 5.5 – Indicador de Desbalanceamento Sonoro (I_1) e Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro (I_2).	48
TABELA 5.6 - Classificação para Capítulo 2 e movimentos noturnos.	49
TABELA 5.7 – Análise Comparativa entre Δ e o IRDS.	50
TABELA 6.1 - Número de pessoas afetadas em Congonhas.....	54
TABELA 6.2 - Número de pessoas afetadas em Recife.....	58
TABELA 6.3 - Número de pessoas afetadas em Jaboatão.....	60
TABELA 6.4 – Resultado da concatenação Recife/Jaboatão	60
TABELA 6.5 – Pessoas afetadas em Pampulha dentro da curva de ruído DNL 65dB(A)	62
TABELA 6.6 - Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais	64
TABELA 6.7 - Pessoas residentes / Desbalanceamento.....	65
TABELA 8.1 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. ($i(0),i(1),i(2),i(3)$) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.....	76

TABELA 8.2 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.....	76
TABELA 8.3 - Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap2 e Cao3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3	77
TABELA 8.4 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBSP	81
TABELA 8.5 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBSP	81
TABELA 8.6 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. (i(0),i(1),i(2),i(3)) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.....	83
TABELA 8.7 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.....	83
TABELA 8.8 - Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3	84
TABELA 8.9 –Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF	87
TABELA 8.10 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF	87
TABELA 8.11 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. (i(0),i(1),i(2),i(3)) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno da operação	89
TABELA 8.12 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.....	89
TABELA 8.13 – Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3	90

TABELA 8.14 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBCT	93
TABELA 8.15 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBCT	93
TABELA 8.16 – Relação entre o número de movimentos e a área da curva de ruído...	95
TABELA 8.17 - Rotas da pista principal 15 - 33	97
TABELA 8.18 - Rotas da pista auxiliar 11-29	97
TABELA 8.19 - Movimentos propostos para as rotas da pista 11-29	98
TABELA 8.20 – Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais.....	100
TABELA 8.21 - Relação entre o Procedimento atual / proposto	100
TABELA 8.22 – Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais	105
TABELA 8.23 – Número de pessoas afetadas em Curitiba.....	106
TABELA 8.24 – Resultado da concatenação SJP/Curitiba	107
TABELA 8.25 – Pessoas residentes abrangidas/métricas	107

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AEM - Area Equivalent Method
- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
- APM - Airport Planning Manual
- CAEP - Committee on Aviation Environmental Protection
- CAN - Committee on Aircraft Noise – Comissão de Ruído de Aeronaves
- CEAC – Conférence européenne de l’aviation civile
- DAC – Departamento de Aviação Civil
- DGAC – Departamento Geral de Aviação Civil
- DNL – Day-Night Level
- ECAC – European Civil Aviation Conference
- EPA - Environmental Protection Agency
- EPN - Effective Perceived Noise – Ruído efetivamente perceptível
- FAA – Federal Aviation Administration
- FICAN – Federal Interagency Committee on Aviation Noise
- FICON – Federal Interagency Committee on Noise
- HAP – Pessoas Altamente Incomodadas
- IAC – Instituto de Aviação Civil
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICAO – International Civil Aviation Organization
- ICCAIA - International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations
- INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
- INM – Integrated Noise Model
- IPR – Índice Ponderado de Ruído
- L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”
- L_{AeqD} - L_{Aeq} para o período diurno
- L_{AeqN} - L_{Aeq} para o período noturno
- MTOM - Maximum Take-Off Mass - Massa máxima de decolagem
- NNC – Non Noise Certificated
- NPD - Noise vs. Power vs. Distance
- NPS – Nível de Pressão Sonora
- NUI - National University of Ireland

OACI – Organização da Aviação Civil Internacional

PEZR – Plano Específico de Zoneamento de Ruído

SAE - Society of Automotive Engineers

SEL – Nível de Exposição Sonora

TGO - touch and go

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

Pode-se definir o ruído aeroportuário, como o ruído que emana das operações de aeronaves ao redor dos aeroportos e dos equipamentos de apoio ao solo. Este tipo de ruído depende dos seguintes fatores: os tipos de aeronaves que usam o aeroporto, o número total de decolagens e aterrissagens diárias, condições operacionais gerais, o tempo do dia que as operações de aeronaves ocorrem, as pistas que são usadas, condições de tempo, topografia e procedimentos de vôos específicos dos aeroportos. O efeito do ruído causado pela operação de aeronaves é por assim dizer subjetivo, e pode depender de um número de fatores relacionados a cada pessoa, como: cultural, socioeconômico, psicológico e situações físicas, e pode variar desde nenhum incômodo ao incômodo severo.

A história do ruído aeronáutico se confunde com a própria origem da aviação, entretanto somente a partir da década de 50, com o aparecimento das grandes aeronaves comerciais a jato e o aumento do número de movimentos, este impacto passou a ser considerado como crítico.

Em relação ao meio ambiente aeroportuário e seu entorno, os cuidados têm sido cada vez mais intensificados, buscando alcançar um equilíbrio entre os dois. O ruído aeronáutico é um dos impactos ambientais mais sérios e que abrange uma área bem maior que a própria área patrimonial do aeroporto, analisando sob os parâmetros da legislação. Cabe ressaltar que dentre as duas abordagens sobre o ruído, a aeronáutica (no ar) e a não aeronáutica (no solo), a primeira é a mais difícil de mitigar, pois a aeronave já se encontra no ar.

Para minimizar estes problemas, ações de controle de ruído devem ser adotadas. Mas, essas ações podem acarretar em prejuízos para a economia da região e para o aeroporto, comprometendo o seu funcionamento. Nesta dissertação serão citadas formas de mitigar este ruído, minimizando os prejuízos sem comprometer o seu funcionamento, diminuindo o incômodo das pessoas expostas a ele.

1.1.1 Abordagem Equilibrada

Na 33ª Assembléia da ICAO¹ realizada em outubro de 2001, todos os Estados contratantes participantes da ICAO adotaram a Resolução A33/7 que define os conceitos da Abordagem Equilibrada no gerenciamento do ruído em aeroportos. A assembléia reconheceu que o processo para implementação e decisão entre elementos da “Abordagem Equilibrada” é de responsabilidade de cada Estado contratante, e que os Estados tem a capacidade de desenvolverem soluções apropriadas para os problemas de ruído em seus aeroportos, com a devida consideração das regras e políticas da ICAO. Coube então a cada Estado membro, a responsabilidade de propor diversas ferramentas para a “Abordagem Equilibrada”, desenvolvendo soluções adequadas para os problemas do ruído nos aeroportos.

1.2 Definição do problema

A necessidade de desenvolver no Brasil ferramentas de mitigação de ruído de origem aeronáutica baseada nas resoluções da ICAO, levando em contas as características dos aeroportos brasileiros e as mudanças ocorridas na Aviação Civil Brasileira nos últimos anos.

1.3 Hipótese

O desenvolvimento de novas soluções ou ferramentas para adequar o problema dos ruídos em aeroportos as normas internacionais regentes de acordo com as resoluções da ICAO, atendendo as atuais características operacionais de aeródromos brasileiros.

¹ International Civil Aviation Organization

1.4 Justificativa

O Brasil como membro efetivo da OACI² necessita de estudos que viabilizem a criação de mecanismos que integrem os conceitos da Abordagem Equilibrada em sua política nacional, tal como já ocorre em diversos países da Comunidade Européia.

1.5 Objetivo da dissertação

O objetivo desta dissertação é de propor ferramentas para auxiliar à aplicação da Abordagem Equilibrada. Estas ferramentas seriam o Indicador de Desbalanceamento Sonoro para o impacto de ruído de aeronaves e os Coeficientes de Sensibilidade.

1.6 Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se dividido em nove capítulos, com a seguinte organização:

No Capítulo 1 foram desenvolvidos os itens relativos à apresentação, definição do problema, hipótese, justificativa do tema, objetivo e definição quanto à organização do trabalho.

O Capítulo 2 aborda os principais fundamentos da acústica aplicada ao ruído aeronáutico, que serão necessários para a compreensão das ferramentas propostas.

O Capítulo 3 tem por finalidade apresentar as principais métricas de incômodo, que auxiliam a identificar a quantidade de pessoas incomodadas com o ruído aeronáutico. A importância do DNL como o índice aceito internacionalmente pelas principais agências internacionais. E o INM, que se caracteriza como a principal ferramenta para a avaliação dos impactos ambientais causados pelo ruído aeronáutico.

² Organização de Aviação Civil Internacional

O Capítulo 4 aborda as normas vigentes aceitas internacionalmente sobre o ruído aeronáutico, com a ICAO presente em todos os seus trâmites, desde os idos da década de 40 até os tempos atuais.

O Capítulo 5 apresenta a ferramenta “Indicador de Desbalanceamento Sonoro”, de como ela é obtida e para quais aeroportos ela pode ser aplicada, destacando sua importância na identificação daqueles aeroportos que necessitam medidas de mitigação de ruído.

O Capítulo 6 apresenta os aeroportos selecionados para o estudo e a forma de quantificar o número de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A).

O Capítulo 7 apresenta a utilização da outra ferramenta sugerida, os Coeficientes de Sensibilidade. Com ela é possível criar cenários alternativos ao cenário de referência, possibilitando o planejador avaliar a melhor opção para cada aeroporto estudado.

O Capítulo 8 mostra um estudo de caso entre três dos quatro aeroportos estudados, onde os Coeficientes de Sensibilidade são aplicados como uma ferramenta de auxílio na solução do problema de ruído no entorno dos aeroportos.

Para o aeroporto de Curitiba, além dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa, é proposta uma gama de soluções alternativas, como: Coeficientes de Sensibilidade Absoluta, mudança de rota e a adoção de novas métricas em contraponto ao DNL, como o LAeqD e o LAeqN.

Por fim, no Capítulo 9, serão apresentadas algumas conclusões relacionadas às possíveis benefícios da aplicação destas ferramentas e também apontas alguns quesitos que poderiam ser aperfeiçoados em futuros estudos.

CAPÍTULO 2 - ACÚSTICA APLICADA AO RUÍDO AERONÁUTICO

2.1 Apresentação

A acústica é um ramo da física que estuda o som, infra-som, o ultra-som e seus efeitos, ou seja, ondas mecânicas que se propagam através da matéria (sólida, líquida ou gasosa). Para fins práticos, a acústica estuda a produção, transmissão, armazenamento, percepção ou a reprodução de som.

Considerando a vasta área de aplicação desta ciência e considerando os objetivos deste trabalho, este capítulo aborda somente os principais fundamentos da acústica aplicada ao ruído aeronáutico que serão necessários para a compreensão das ferramentas propostas.

2.2 Fundamentos de acústica

2.2.1 O Som

O som é qualquer fenômeno que envolve a propagação na forma de ondas elásticas audíveis ou quase audíveis, geralmente através de um fluido (ou outro meio elástico) que esteja gerando o movimento vibratório de um corpo.

A velocidade desta propagação depende das características específicas do meio. Quando a onda sonora se propaga no ar, a sua velocidade é afetada por vários fatores tais como a temperatura, pressão e umidade. Normalmente esta velocidade gira em torno de 340 m/s (DOWLING, 1983).

O som possui três características principais: amplitude, frequência e timbre. Dentro do escopo deste trabalho a amplitude sonora está relacionada com a pressão sonora captada pelo ouvido humano. A frequência é a característica sonora que permite distinguir a altura sonora. Por fim, o timbre refere-se ao conteúdo de frequência de um determinado som.

2.2.2 Amplitude e Decibel

A gama de amplitude da audição humana está compreendida aproximadamente entre 20 μPa a 100.000.000 μPa , onde o primeiro é o limiar de audição (a menor pressão que pode ser ouvido pela média de uma população saudável), e o último é o limiar de dor (onde o som torna-se tão alto que seria doloroso e potencialmente prejudicial para o ouvido).

Ainda que seja possível expressar pressões sonoras em Pascal, a sua utilização não é prática em função das dificuldades de se expressar valores numéricos de ordens de grandeza muito diferentes. Outro fato relevante é a constatação de que a percepção do ser humano, em relação ao som, não é linear e sim logarítmica (PIERCE, 1981).

No decorrer dos primeiros anos da década de 1920, quando as medições de pressão sonora se tornaram práticas, era comum a utilização da escala logarítmica, na base 10, para comprimir a escala linear em Pascal (PIERCE, 1981).

Posteriormente, foi acordado expressar a pressão sonora na escala logarítmica, nessa base, a qual foi denominada bel, em homenagem a Alexander Graham Bell. Entretanto, por tratar-se uma unidade muito grande para ser usada com praticidade, costuma-se usar a décima parte do bel, denominada decibel (dB) (HASSAL, 1979).

O Nível de Pressão Sonora – NPS, expresso em decibel é definido na equação (2.1):

$$\text{NPS} = 10 \log\left(\frac{P}{P_0}\right)^2 \quad (2.1)$$

onde:

P = Pressão sonora medida.

P_0 = Pressão sonora de referência padronizada, 20 μPa .

Assim sendo, os limites inferior e superior da audição humana, que expressos em termos de Pascal são 20 μPa e 100.000.000 μPa respectivamente, quando transformados em decibel são equivalentes a 0 dB e 134 dB.

2.2.3 Soma de Níveis de Pressão Sonora

Os decibéis não se somam. Uma das particularidades de trabalhar com unidades logarítmicas, como os decibéis, aparece na hora de considerar os efeitos de várias fontes sonoras.

O procedimento correto é linearizar as parcelas em decibel, transformando cada valor em pressão quadrática. As pressões quadráticas são somadas linearmente e seu resultado é transformado novamente em decibel.

A equação (2.2) mostra a forma simplificada de fazer esta operação.

$$\sum NPSdB = 10 \log \left(\sum_A^N 10^{\frac{A}{10}} + 10^{\frac{B}{10}} + 10^{\frac{C}{10}} + \dots + 10^{\frac{N}{10}} \right) \quad (2.2)$$

Onde A, B, C... N, são os níveis de pressão sonora, expressos em decibéis.

2.2.4 Frequência

Frequência é o número de ocorrências de repetição de um evento por unidade de tempo. É também referida como frequência temporal. O período é a duração de um ciclo em um evento de repetição, portanto, o período é o inverso da frequência. No Sistema Internacional (SI) a unidade de frequência é o Hertz (Hz), que representa o número de ciclos por segundo (HARIS, 1979).

A faixa de audição humana se situa entre 20 Hz e 20 kHz, embora para a média das pessoas adultas o limite superior de frequência caia de 20 kHz para um valor próximo de 10 kHz (KRYTER, 1970).

Em geral, os sons encontrados na natureza não são compostos por uma única frequência, mas sim por uma composição destas, a qual é denominada de espectro de frequência sonora (BERANECK, 1971).

O aparelho auditivo humano não responde de forma igual para todas as frequências dentro da faixa audível. A região máxima sensibilidade do ouvido humano situa-se próximo de 3 kHz. A medida que a frequência se aproxima dos extremos da faixa audível a percepção sonora cai (KINSLER, 1950).

2.2.5 Timbre

A natureza temporal do som pode ser descrito em termos do seu padrão de tempo e de nível: a continuidade, a flutuação, a impulsividade e a intermitência. Sons contínuos são os sons produzidos por períodos relativamente longos a um nível constante, como o ruído de uma cachoeira. Sons Intermitentes são os sons que são produzidos por curtos períodos, como o toque de um telefone ou decolagens e aterrissagens de aeronaves. Ruídos Impulsivos são sons que são produzidos em um espaço de tempo extremamente curto, como um tiro de pistola ou palmas com as mãos. Flutuações nos níveis sonoros variam ao longo do tempo, tais como o volume de sons do tráfego em um cruzamento movimentado.

2.2.6 Audibilidade

Audibilidade é o estudo de como nosso ouvido recebe e interpreta as flutuações da pressão sonora associadas às variações de frequência. Esse estudo, logicamente, deve ser estatístico, pois, dentro da espécie humana, existe a diversidade individual. Sabe-se apenas, com certeza, de que essa percepção depende, sobretudo, do nível de pressão sonora, do conteúdo espectral do som estudado e, em alguns casos, da idade do ouvinte. A esta percepção auditiva dá-se o nome de audibilidade (CECIA, 1981).

Na tentativa de desenvolver parâmetros numéricos capazes de expressar, ao menos parcialmente, este fenômeno, Fletcher e Munson desenvolveram, na década de 30, um trabalho que hoje denominamos curvas de igual audibilidade, e que têm

encontrado aceitação considerável. O resultado deste trabalho é mostrado na figura (2.1).

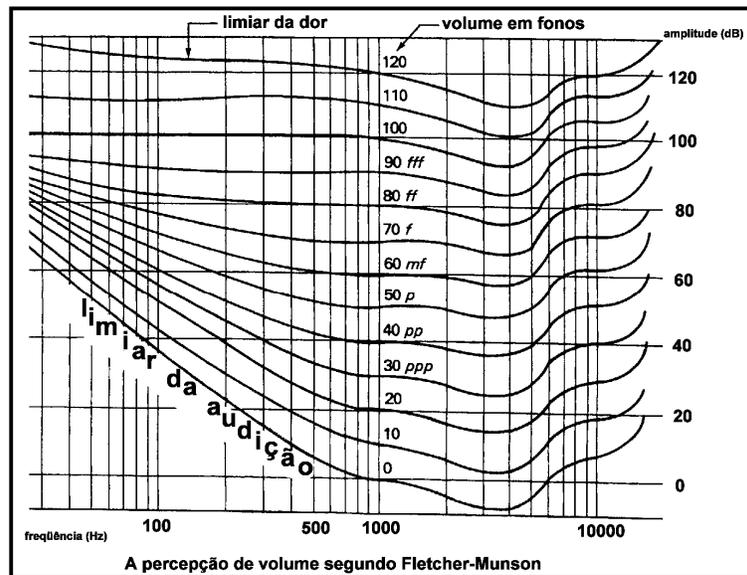


Figura 2.1 - Curvas de Fletcher e Munson.

Fonte: NUI³, Ireland.

Estas curvas nos dizem, por exemplo, que um som de 50 dB de NPS⁴ em 1 kHz tem o mesmo nível de audibilidade de um som de 70 dB de NPS e 80 Hz. É usual dar o nome de FON à unidade de nível de audibilidade.

As curvas de audibilidade ou curvas *loudness* são muito importantes no estudo de acústica, como por exemplo, temos os aparelhos de som, do qual se pode utilizar a tecla "loudness" que nos dá um aumento dos sons graves e agudos, proporcional às curvas, para que todas as frequências sejam igualmente ouvidas. Nos decibelímetros (aparelhos medidores do nível de intensidade sonora) as medições são feitas levando-se em consideração a sensibilidade do ouvido humano: o aparelho mede o NPS da mesma maneira que o ouvido percebe o som, equalizando de acordo com as curvas *loudness*.

Quando se faz um gráfico destes níveis em função da frequência nas quais eles foram determinados, obtém-se a curva de N fonos, que é a unidade de medida de audibilidade. É importante reforçar que estas curvas foram levantadas empiricamente,

³ National University of Ireland

⁴ Nível de Pressão Sonora

ou seja, foram baseadas unicamente em dados experimentais, sendo que cada curva é o resultado médio de, pelo menos, centenas de experimentos. Este processo foi repetido para tons de 1000 Hz a 20, 30, 40, 50 dB, etc., para determinação das curvas de 20, 30, 40, 50 fones, etc. (CECIA, 1981).

Avaliando as curvas, pode-se entender que o ouvido humano é muito mais sensível para sons cujas frequências estão entre 1000 e 6000 Hertz. Para frequências acima ou abaixo destes valores, o ouvido perde sensibilidade, necessitando de níveis cada vez maiores para percepção, a medida que nos aproximamos dos extremos da faixa audível (20 Hz ou 20 kHz), percebemos também que a percepção máxima ocorre para sons em torno de 3500 Hertz. (CECIA, 1981).

2.2.7 Medição de Ruído Ambiental: Descritores de Sons

A EPA⁵ adotou um sistema de quatro "descritores de som" para resumir como as pessoas ouvem o som para determinar o impacto do ruído ambiental sobre a saúde pública e o bem-estar. Estes quatro descritores são: o nível sonoro ponderado A (L_pA), nível de exposição sonora equivalente ponderada A ($L_{Aeq,T}$), nível equivalente sonoro (L_{eq}), nível de exposição sonora (SEL).

Os níveis sonoros estão relacionados, mas cada um é mais útil para um determinado tipo de medição.

2.2.8 Filtros de Ponderação

A resposta do ouvido em frequência tem uma variação não linear e por isso foram introduzidos nos sonômetros filtros de ponderação com o objetivo de correlacionar os valores medidos com a resposta do ouvido. Estes filtros têm a particularidade de atenuar o sinal sonoro de acordo com curvas de ponderação que seguem aproximadamente as curvas isofônicas. Nas normas internacionais estão definidas 4 curvas: A, B, C e D. As curvas E e SI embora padronizadas têm pouca utilização; todas as curvas são apresentadas na figura (2.2).

⁵ *Environmental Protection Agency*

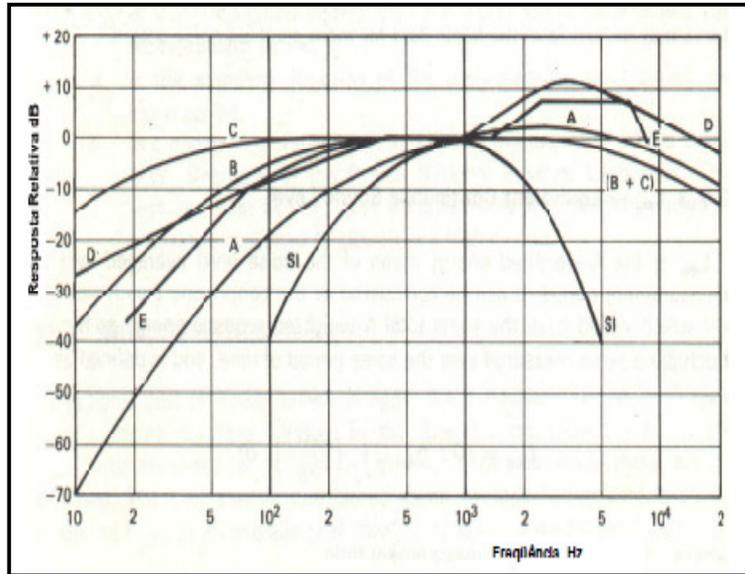


Figura 2.2 - Curvas dos Filtros A, B, C, D, E e SI.

Fonte: HASSAL (1979).

As curvas de ponderação A, B e C correspondem aproximadamente às curvas do mesmo nível de audibilidade de 40, 70 e 100 fones invertidas (HASSAL, 1979).

O filtro de ponderação D, desenvolvido mais recentemente, é voltado especificamente para a aviação, uma vez que os pesos referentes às frequências mais usuais do ruído aeronáutico foram aumentados (HASSAL, 1979).

Os níveis de pressão sonora submetidos a este tipo de correção são expressos como dB(A), dB(B), dB(C) e dB(D). A curva de ponderação mais utilizada é a curva A por ser aquela que melhor correlaciona os valores medidos com a incomodidade ou risco de trauma auditivo do sinal sonoro. A figura (2.3) mostra os níveis de ponderação A de alguns ruídos ambientais. Note que estas faixas de valores medidos são os máximos níveis sonoros.

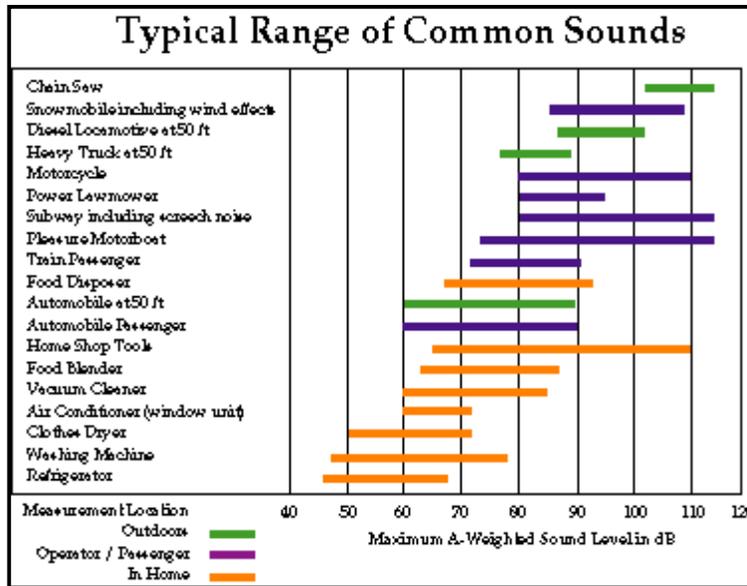


Figura 2.3 - Faixa típica de sons comuns.

Fonte: EPA.

2.2.9 Nível Equivalente de Ruído - Leq.

O Nível Equivalente de Ruído quantifica o ruído ambiente como um valor único do nível sonoro desejado para qualquer duração. Este descritor se correlaciona bem com os efeitos do ruído sobre as pessoas.

Matematicamente o Leq é definido na equação (2.3).

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} \right) \quad (2.3)$$

Onde t é o intervalo de tempo de interesse.

Quando os níveis de ruído são processados pelo filtro de ponderação “A”, o Leq torna-se LAeq.

O Leq se relaciona com o SEL da seguinte forma:

$$Leq = 10 \log \left(\frac{1}{\Delta t} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} \right) = 10 \left\{ \log \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} - \log(\Delta t) \right\}$$

Considerando $t_0 = 1s$, obtém-se:

$$Leq = \log \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} - 10 \log(\Delta t)$$

$$Leq = SEL - 10 \log(t) \quad (2.4)$$

2.2.10 Nível de Exposição Sonora - *Sound Exposure Level* –SEL ou L_{AE}

O nível de exposição sonora (SEL ou L_{AE}) é um Leq normalizado para 1 segundo. Ele pode ser usado para comparar a energia de eventos de ruído que tem durações de tempo diferentes.

Matematicamente o SEL é definido na equação (2.5):

$$SEL = 10 \log \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt = 10 \log \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} dt \quad (2.5)$$

Onde t_1 e t_2 correspondem ao tempo inicial e final de medição, e t_0 é a duração de referência, respectivamente.

Assim como o Leq , a formulação integral do SEL pode ser simplificada, conforme mostrado na equação (2.6).

$$SEL = 10 \log \left(\sum_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{NPS}{10}} \right) \quad (2.6)$$

CAPÍTULO 3 – INM E AS MÉTRICAS DE INCÔMODO SONORO.

3.1 Relação entre o impacto ambiental sonoro e o número de incomodados

Existem estudos publicados, baseados em avaliações do número pessoas que são incomodadas pelo ruído ao redor dos aeroportos, que comprovam o quanto este problema é atual nos dias de hoje. Estes estudos fundamentados nos trabalhos de Schultz (1972) foram publicados em 1977 e são aceitos até hoje pelas Agências Federais Internacionais, eles estimavam os diferentes efeitos dos níveis de ruído sobre a população. Em um desses estudos, o aeroporto de Portland, no seu Relatório Anual do Plano de Atenuação do Aeroporto⁶ (1996), calculou que entre os níveis de ruído de 60 a 65dB(A), 37,5% dos residentes ao redor do aeroporto estavam altamente incomodados – tabela (3.1).

Tabela 3.1 - porcentagem prevista de pessoas altamente incomodadas por níveis de ruído de aeronaves no aeroporto internacional de Portland.

Níveis de Exposição (DNL)	% de pessoas altamente Incomodadas
55 – 60 dB(A)	12,5 %
60 – 65 dB(A)	37,5 %
65 – 70 dB(A)	62,5 %
70 – 75 dB(A)	87,5 %
Maior que 75 dB(A)	100,0 %

Fonte: Portland Airport (1996)

Os trabalhos de Schultz, também, serviram de base para elaboração do zoneamento aeroportuário. Os estudos da EPA⁷, em 1973, estabeleceram a curva de DNL⁸ 65dB(A) como o limite de zoneamento baseado sobre o incômodo das pessoas, proibindo o uso residencial apenas para pontos onde DNL > 65dB(A).

Segundo a FAA⁹, o DNL 65dB(A) ainda é o melhor critério para estabelecer o impacto de ruídos significantes nas comunidades vizinhas ao aeroporto.

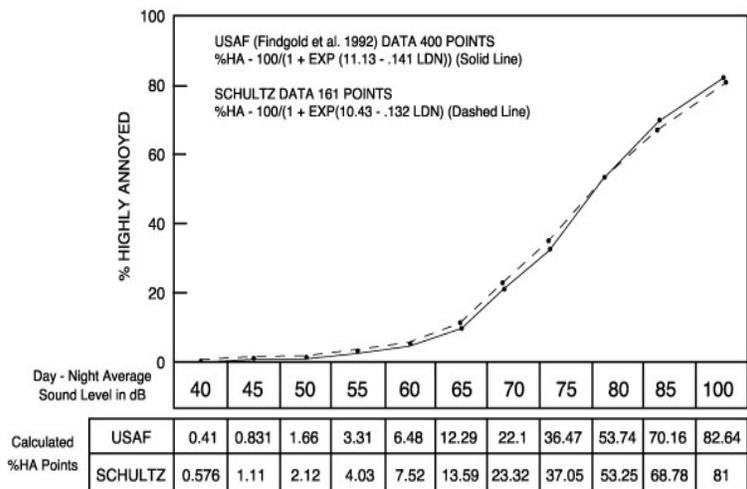
⁶ Airport Annual Attenuation Plan Report

⁷ Environmental Protection Agency

⁸ Nível de Ruído Dia-Noite - Day Night Level

⁹ Federal Aviation Administration, USA - Administração Federal de Aviação

Tabela 3.2 - Percentual de População Altamente Incomodada por Schultz e pela USAF.



Fonte: Schultz (1978)

Característica da tabela (3.2) de Schultz para o DNL 65dB(A) como o limiar de significação:

- Na tabela, o intervalo delimitado entre 60 e 70dB(A) da curva é que correlaciona à resposta humana à exposição de ruído, nela é que se avalia a porcentagem da população altamente incomodada (Schultz et al.);
- Praticabilidade econômica de mitigação até este limiar.

Segundo pesquisadores que criticam o modo como a curva de Schultz foi desenvolvida, para a região onde DNL < 65dB(A) existe ainda um grande número de pessoas incomodadas pelo impacto do ruído de aeronaves. Bronzaff (1998) mostrou que a adoção da métrica DNL no zoneamento aeroportuário, baseada nas curvas de Schultz, produziu subavaliações de incômodo nas comunidades; concluiu-se que o número de pessoas que são incomodadas pelo impacto do ruído de aeronaves é mais elevado do que é geralmente informado; além disso, os aeroportos geram também outros tipos de ruídos, tal como: o movimento de tráfego de veículos ao seu redor, que contribuem para aumentar o número de pessoas altamente incomodadas.

- Resultados apresentados por diversas Agências Ambientais em relação ao incômodo.

Tabela 3.3 – Percentual de População Altamente Incomodada para diversas agências ambientais.

Nível de Ruído	Agências/percentual de população altamente incomodada		
	EPA	OECD	NRC
DNL			
50	7,2	0	2,259
55	16,2	10	4,577
60	25,2	20	8,672
65	34,2	30	15,173
70	43,2	40	24,493
75	52,2	50	36,866

Fonte: GERA / EPA / OECD / NRC / ELABORAÇÃO PRÓPRIA

3.2 EPA

Nos Estados Unidos, o *Noise Control Act* de 1972, habilitou a EPA definir os limites de ruído necessários para proteger a saúde pública e o bem-estar com uma margem adequada de segurança; a definir normas de emissão de ruído para as principais fontes de ruído no meio ambiente, incluindo equipamentos de transporte e infra-estruturas, equipamentos de construção e máquinas elétricas, bem como propor regulamentos de controle de ruído das aeronaves e motores.

A EPA colaborou com agências federais de outros países e a comunidade científica internacional para publicar um "documento de níveis" ¹⁰, que iria cumprir esses requisitos na lei de controle de ruído.

Extensas pesquisas sociais foram realizadas em torno do aeroporto de *Heathrow*, perto de Londres e em oito grandes aeroportos nos Estados Unidos. A relação nestas averiguações entre níveis de exposição ao ruído e a percentagem de pesquisados que foram considerados incomodados pelo ruído é resumido na figura (3.1).

¹⁰ EPA 550/9-74-004, Março de 1974, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460.

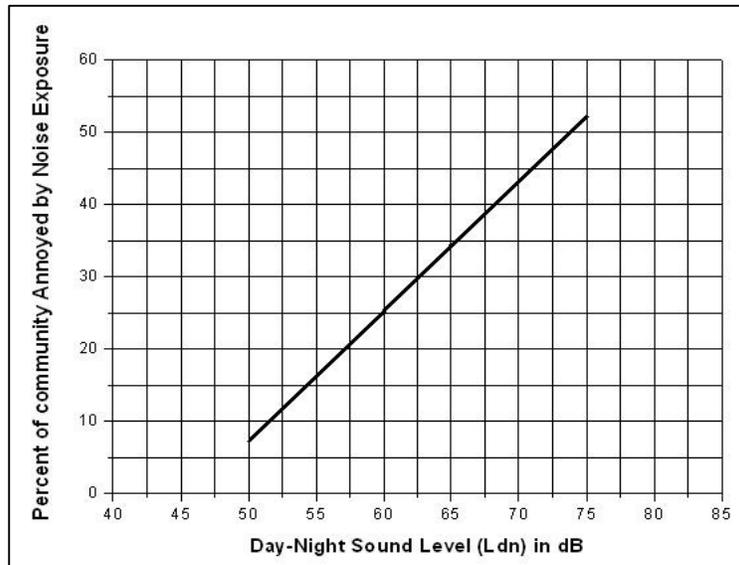


Figura 3.1 - Percentual de pessoas incomodadas.

Fonte: EPA.

3.3 O caso brasileiro

O governo brasileiro realizou os seus primeiros estudos em gestão de ruído de aeronaves no final dos anos 70. Nos anos 80, 90 os maiores aeroportos tinham o seu PEZR¹¹ aprovado e expedido às entidades locais para sua execução. Este plano tem de ser atualizado sempre quando a frota modifica-se substancialmente - quanto à emissão de ruído baseado na classificação ICAO - ou quando a infra-estrutura se modifica. Os dados básicos para este planejamento são as curvas de ruído calculadas pelo INM¹² - que é um programa de computador que pode ser utilizado para avaliar os impactos ambientais causados pelas aeronaves e as suas operações.

O Brasil vem adotando o método denominado Índice Ponderado de Ruído (IPR), que nada mais é que o DNL, desde a década de 80 para o cálculo do incômodo produzido por aeronaves. A partir de 1994, após estudos realizados pelo Instituto de Aviação Civil, a formulação do método foi modernizada com o objetivo de permitir medições diretas em campo, o que não era possível anteriormente. Na nova versão do Manual de Planejamento de Aeroportos (DOC9184) - Parte 2 da OACI encontra-se descrito o IPR.

¹¹ Plano Específico de Zoneamento de Ruído

¹² *Integrated Noise Model*

O IPR é definido como sendo o nível médio de ruído, ponderado na escala “A”, para um período de 24 horas, aplicando-se um acréscimo de 10dB(A) nos níveis de ruído que ocorrem no período entre 22:00 e 7:00 h, com o objetivo de considerar a maior sensibilidade da população neste horário.

$$\text{IPR} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{L_d/10} + 9 \cdot 10^{(L_n+10)/10} \right) \right) \quad (3.1)$$

onde:

L_d = diurno - *day time* (Leq) e L_n = noturno - *night time* (Leq).

No caso do Brasil, o DNL é utilizado para definir áreas de usos diferentes. Por que o DNL foi escolhido como a métrica de ruído?

- Quantifica a exposição de ruído cumulativa de múltiplos eventos;
- Predominam os eventos mais ruidosos;
- Considera os períodos diurnos e noturnos (os eventos noturnos têm o maior impacto).

O impacto do ruído de aeronaves é geralmente estudado pelas suas curvas de ruído (*noise footprint*). É representado como uma linha associada a pontos para o mesmo nível de pressão. Os níveis de referência para os estudos brasileiros são 65dB(A) e 75dB(A). Estas curvas são geradas a partir de programas de computador que calculam o nível de ruído produzido pelo conjunto de aeronaves que operam diariamente em um determinado aeroporto.

A partir destas curvas, podem-se delimitar cinco áreas, sendo estas: Áreas I, II, III, IV e V. Nestas, definem-se restrições ao uso do solo em função do nível de ruído as que estão submetidas. Maiores detalhes podem ser visualizados no anexo 01.

Quando nessas áreas já existem ocupações urbanas, especialmente as de uso residencial, são previstas reações adversas por parte da comunidade em função de sua localização. A tabela (3.4) mostra a reação esperada das comunidades que residem em áreas próximas de aeródromos, em função do IPR.

Tabela 3.4 - Reação Comunidades Esperada em Função do IPR.

Valor do Índice Ponderado de Ruído IPR	Reação da comunidade em função do IPR
Menor que 65 IPR	Ambiente pouco ruidoso Nenhuma reclamação é esperada
Entre 65 e 75 IPR	Ambiente medianamente ruidoso Espera-se um grande volume de reclamações por parte das comunidades
Maior que 75 IPR	Ambiente extremamente ruidoso São esperadas reclamações generalizadas por parte das comunidades, inclusive com possíveis ações judiciais em prol da redução de ruído.

Fonte: ABNT, 1993.

Em função das características das atividades desenvolvidas nas edificações e do nível de ruído a que está submetida cada área, foram estabelecidas algumas restrições ao uso do solo de forma a amenizar o efeito do ruído aeronáutico sob a população, possibilitando o desenvolvimento de atividades mais compatíveis tais como o lazer ao ar livre.

3.4 Modelo Integrado de Ruído - INM.

3.4.1 Apresentação do INM 7.0

O INM é um programa computacional desenvolvido pela FAA, que tem como objetivo calcular o nível de ruído produzido por operações aeronáuticas nas áreas de entorno de aeródromos. Atualmente, este programa é utilizado por mais de 700 organizações em 35 países, incluindo o Brasil.

O software foi desenvolvido com base em três documentos que definem um método de cálculo similar: "*Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the*

Vicinity of Airports" da SAE¹³ - *Aerospace Information report (AIR)* (SAE 1845), circular 205 da ICAO e o documento N°29 da ECAC.CEAC.

O programa utiliza informações de rotas de vôos, frota de aeronaves por aeroporto, características das aeronaves, modelos de terreno, entre outras. Com essas informações as curvas de ruído são calculadas permitindo analisar o efeito das variações nos parâmetros aeroportuários na emissão sonora e conseqüentemente a percepção pelo ambiente no entorno do aeroporto.

Os algoritmos de cálculo de ruído estão apresentados em documentos publicados pela SAE, incluindo o AIR- SAE-1845 (1986), entre outros, que se referem à absorção atmosférica e a atenuação sonora.

O INM é um modelo de avaliação média de ruído, desenvolvido para cálculos estimados em longo prazo, utilizando dados mensais ou anuais de entrada. Por esse motivo, podem ocorrer diferenças entre o que foi estimado e as medições locais.

A versão do programa INM utilizada é a 7.0, de 2007, a qual possui um banco de dados contendo informações detalhadas sobre os níveis de ruído produzidos por mais de duzentas aeronaves.

Os aspectos a verificar sobre os métodos de cálculo provisório correspondem aos seguintes aspectos:

Dados de emissões: os bancos de dados de emissões empregados correspondem com ao do software INM da FAA, versão 7.0.

O INM contém um banco de dados que correlacionam ruído, potência e distância (NPD¹⁴), contendo, também, um banco de dados de recursos espectrais, aplicados apenas no cálculo da absorção sonora atmosférica. Os dados NPD de uma aeronave, não podem ser definidos pelo usuário, consistindo em vários níveis de decibéis em função da potência dos motores e a distância entre o observador e a aeronave.

¹³ *Society of Automotive Engineers*

¹⁴ *Noise vs. Power vs. Distance*

Para cada aeronave específica os dados de ruído são dados em um formato mostrando o nível de ruído como uma função da distância da aeronave e a potência do motor (tabela 3.5). À distância e a potência do motor são dados em ordem crescente, o nível de ruído é dado em L_{AE} .

Tabela 3.5 - Formato dos dados de ruído: L_{AE} como uma função de uma distância próxima d e o ajuste de potência do motor P .

DISTÂNCIA	POTÊNCIA DO MOTOR				
	P_1	P_2	P_3	...	P_n
d_1	L_{11}	L_{12}	L_{13}	...	L_{1n}
d_2	L_{21}	L_{22}	L_{23}	...	L_{2n}
d_3	L_{31}	L_{32}	L_{33}	...	L_{3n}
.
.
d_m	L_{m1}	L_{m2}	L_{m3}	...	L_{mn}

Fonte: FAA (1998)

Os níveis de ruído no formato correspondem ao nível de ruído medido durante uma decolagem. Durante a decolagem assume-se a aeronave, dentro do período de tempo que determina a métrica de ruído, seguindo uma trajetória reta com velocidade e ajuste de potência constante. A distância no formato é a mais próxima entre posição de medição e a aeronave durante a decolagem. A potência do motor é expressa em uma unidade de relevância para cada aeronave específica, para as aeronaves a jato o empuxo normalmente do motor é em libras. O nível de ruído no formato é corrigido para cumprir com os fatores de atenuação atmosférica descritos no Documento ECAC 29, OACI Cir 205 e SAE AIR 1845. O intervalo de validade é: temperatura do ar inferior a 30°C, produto da temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) superior a 500, velocidade do vento inferior a 8 m/s.

Estimativa para níveis de ruído em função da distância e potência do motor é feito por interpolação (figura 3.2). Onde P é a potência, P_1 e P_2 são os ajustes de potência (*Power setting*) no formato imediatamente abaixo e acima de P .

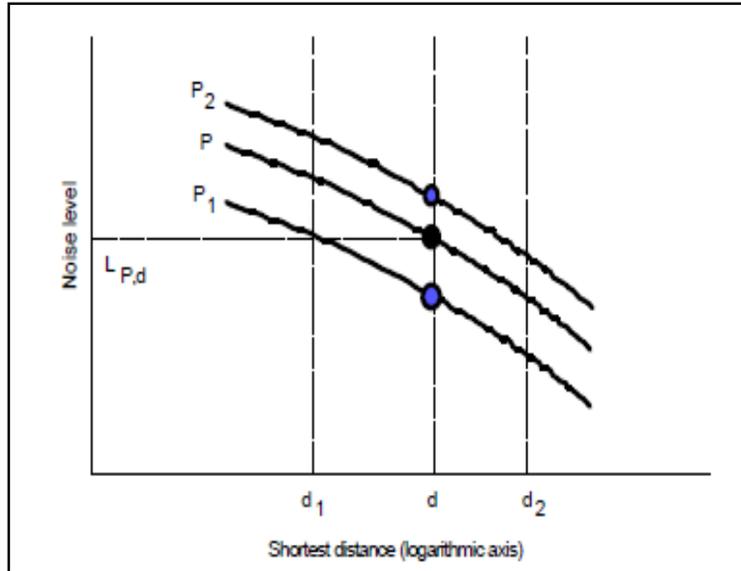


Figura 3.2 - Esquema de Interpolação Linear.

Fonte: SAE AIR 1845_MAR1986 ©1986 Society of Automotive Engineers, Inc.

Os dados de ruído preferivelmente devem abranger todas as distâncias e ajustes de potência de relevância aos cálculos de ruído. A maioria das bases de dados cobre o intervalo de distância de aproximadamente 60-7600 m (200-25000 pés). Uma amostra de dados NPD do INM podem ser examinados na tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Amostras de dados NPD para uma aeronave 757PW com um motor PPW2037.

ACFT_ID	NOISE_ID	OP_TYPE	THR_SET	L_200	L_400	...	L_25000
757PW	PW2037	A	5000	96.1	91.8	...	49.2
757PW	PW2037	A	12000	98.6	94.0	...	49.4
757PW	PW2037	D	13000	98.4	94.3	...	49.8
757PW	PW2037	D	24000	100.5	96.2	...	56.0
757PW	PW2037	D	30000	104.3	100.6	...	60.9
757PW	PW2037	D	36000	104.5	101.5	...	61.6

Fonte: NASA Ames Research Center

O modelo de banco de dados contém informações de ruído (em dB) em 10 diferentes distâncias de um ponto de observação, de 200 a 25.000 pés. Neste conjunto de dados do exemplo, a curva de ruído identificada é medida a partir de um Boeing 757 (757PW), juntamente com os motores Pratt & Whitney (PW2037), para operações de aterrissagens e decolagens com configurações de empuxo 5000-36000 lb.

Técnica de segmentação: o software do INM utiliza a técnica de segmentação para o cálculo do nível de exposição gerado por uma aeronave no curso de suas operações.

A trajetória de vôo, tanto em seus trajetos retos como circulares, está dividida em segmentos, todos eles retos, com potência e velocidade constantes. O comprimento mínimo de um segmento é de três metros.

A vantagem que apresenta os modelos de segmentação das trajetórias do vôo, é que cada segmento pode ser calculado em condições distintas dentro de uma mesma trajetória, como por exemplo, alterar as potências dos motores de acordo com o tipo de operação (subir a velocidade constante, acelerar mantendo a altura constante, etc.).

Um dos primeiros cálculos que se realiza é o geométrico, calcula-se a distância mais curta entre diferentes pontos da malha e a trajetória do voo, a linha perpendicular que os une (figura 3.3). O ponto mais próximo é denotado P e o ponto de cálculo B.

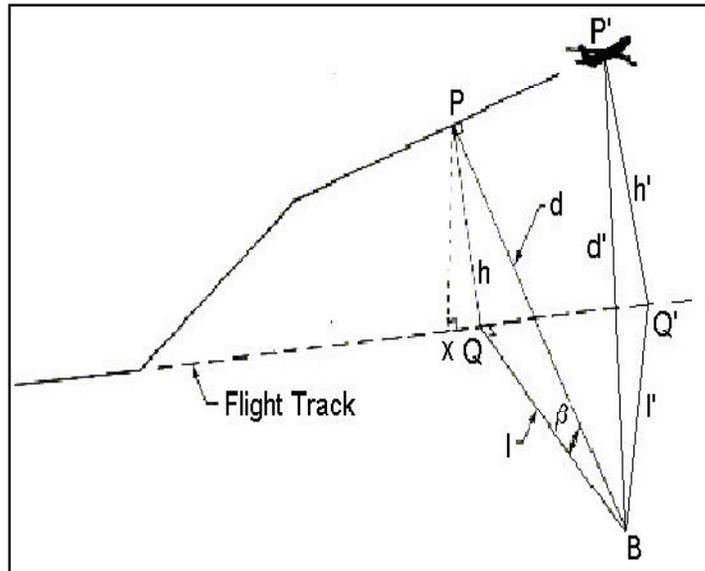


Figura 3.3 - Definição de parâmetros geométricos.

Fonte: FAA (1998).

Do formato dos dados de desempenho é determinada a altura no ponto P. A distância entre P e B denotado d é calculada. Baseado na distância d e no ajuste de potência do motor pode-se determinar o nível de ruído não corrigido para cada segmento do formato de dados do ruído. A distância d é calculada de acordo com a figura (3.3) mesmo se o ponto P se encontra além das extremidades do segmento. Esta distância calculada é importante visto que a partir dela é que se calcula a exposição sonora de cada segmento.

Uma vez calculada a exposição sonora de cada segmento, realiza-se o cálculo da correspondente ao voo, através de uma integração ao longo da trajetória, para obter finalmente a energia total.

3.4.2 Descrição do modelo

Para o cálculo de um determinado cenário, o INM deve representar a configuração física do seu campo de vôo e de seu entorno, assim como a maneira na qual se utilizam as instalações, ou seja, o seu regime de funcionamento.

Para atingir este objetivo é necessário reunir informações que descreva as operações de decolagem e aterrissagem para o período considerado, incluindo a descrição do modelo da aeronave que realiza cada operação e as trajetórias de vôo seguidas nas operações de decolagem e aproximação do aeroporto.

O processo de cálculo do valor das métricas declaradas se realiza da mesma forma em todos os pontos de uma malha de cálculo, definida anteriormente, abrangendo o escopo de simulação desejada. Os níveis de ruído gerados por cada operação de sobrevôo em cada ponto da malha são obtidos mediante integração dos diferentes resultados obtidos para cada segmento da rota com a aplicação de algoritmos que envolvem os dados de comportamento acústico de cada aeronave, os perfis de vôo e as distâncias das aeronaves ao ponto em questão.

Estes níveis se corrigem mediante algoritmos que refletem a incidência da atenuação lateral, especificamente a norma SAE-AIR-1751 "*Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise during Takeoff and Landing* – Método de previsão para atenuação lateral do ruído de aeronaves durante a decolagem e pouso" de 1981 de acordo com documento N ° 29 da ECAC.CEAC (versão de 1997). A partir dos valores corrigidos aplica-se a expressão do índice de exposição desejada, que pode incluir a consideração dos fatores de penalização para as operações realizadas em determinados períodos do dia, obtendo-se o valor do mesmo nos pontos de malha do cálculo.

Os contornos de igual nível de ruído (isofônicos) constituem o resultado gráfico fundamental do processo de cálculo e podem ser incorporados aos mapas de compatibilidade de uso.

O modelo também proporciona os níveis de condição em pontos específicos em que sua caracterização é importante para os processos de avaliação. Nestes pontos, o modelo fornece informações detalhadas que permite distinguir aqueles eventos que contribuem de maneira mais significativa aos níveis resultantes.

O fluxograma na figura (3.4) mostra esquematicamente a metodologia seguida para realizar a simulação de um caso com o INM.

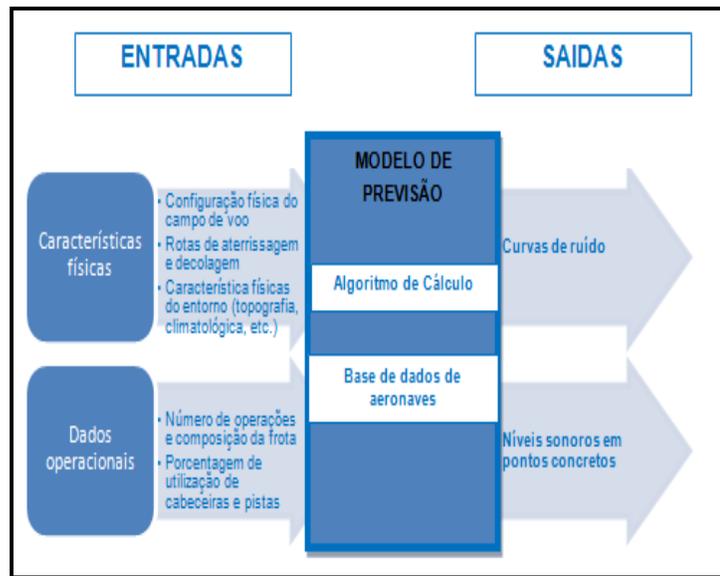


Figura 3.4 - Diagrama de fluxo do INM.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA.

3.4.3 Da aplicação do INM 7.0.

Para se utilizar o INM 7.0 na previsão dos níveis de ruído nas áreas de entorno de aeródromos são necessários os seguintes dados:

- Temperatura de referência do aeródromo;
- Altitude do aeródromo;
- Comprimento(s) de Pista(s); incluindo as coordenadas cartesianas ou geográficas das cabeceiras;
- Trajetórias de pouso e decolagem (rotas e procedimentos);
- Modelos de Aeronaves;

- Numero de movimentos diurnos e noturnos de aeronaves dentro de cada uma das trajetórias;
- Definir a área de entorno do aeródromo que o programa fará o cálculo de níveis de ruído;
- Unidade de incômodo a ser calculada;
- Valores dos níveis de ruído desejados.

Após incluir todas estas informações, o INM 7.0 calcula os níveis de ruído para cada ponto da área estipula pelo usuário, na unidade de incômodo desejada. Ao terminar este procedimento, o programa une os pontos com os valores de níveis de ruído especificados. Da união destes pontos surgem as Curvas Nível de Ruído, que são utilizadas como um dos elementos dos Planos de Zoneamento de Ruído.

CAPÍTULO 4 - LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL VIGENTE SOBRE RUÍDO AERONÁUTICO

4.1. O Papel da ICAO

A ICAO, organismo especializado das Nações Unidas, criado em 1944 para promover o desenvolvimento seguro e ordenado da aviação civil internacional, estabelece normas e regulamentos necessários para a segurança operacional, proteção, eficiência e regularidade da aviação, assim como para a proteção do meio ambiente.

Os aviões que saem das linhas de produção hoje são aproximadamente 75 % mais silenciosos do que há 40 anos e os fabricantes de aeronaves estão trabalhando para reduzir isto ainda mais. Esses desenvolvimentos são refletidos em Padrões de Certificação da ICAO e de uma contínua promoção para o desenvolvimento de tecnologias de redução de ruídos. A figura (4.1) fornece uma ilustração de como a tecnologia ajudou a aumentar a eficiência de redução de ruído de aeronaves.

Esta figura compara dois tipos de jatos da série A-340 ao novo e gigantesco jato de transporte A-380. Ela mostra que o aumento significativo na capacidade de transporte do novo A-380, não representou em um aumento de ruído na aeronave.

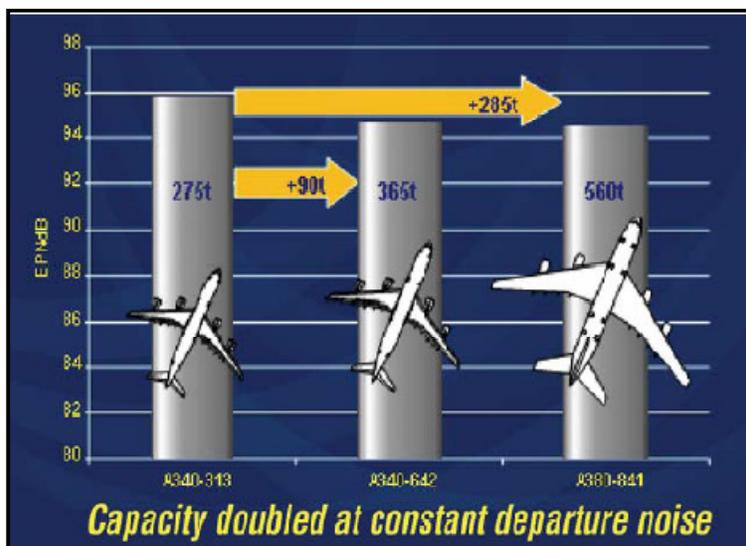


Figura 4.1 - Crescimento da Capacidade sem aumento de Ruído.

Fonte: Airbus (2007).

A ICAO tem abordado a questão do ruído de aeronaves desde os anos 1960. Os primeiros padrões e as práticas recomendadas do certificado de ruído de aeronaves foram publicados em 1971. Eles foram inseridos no Anexo 16, volume I - proteção do meio ambiente, da convenção sobre a aviação civil internacional. Esses Padrões vêm sendo atualizados desde então para refletir melhoras na tecnologia. A figura (4.2) mostra como as novas tecnologias influenciaram na redução de ruído com o passar dos anos.

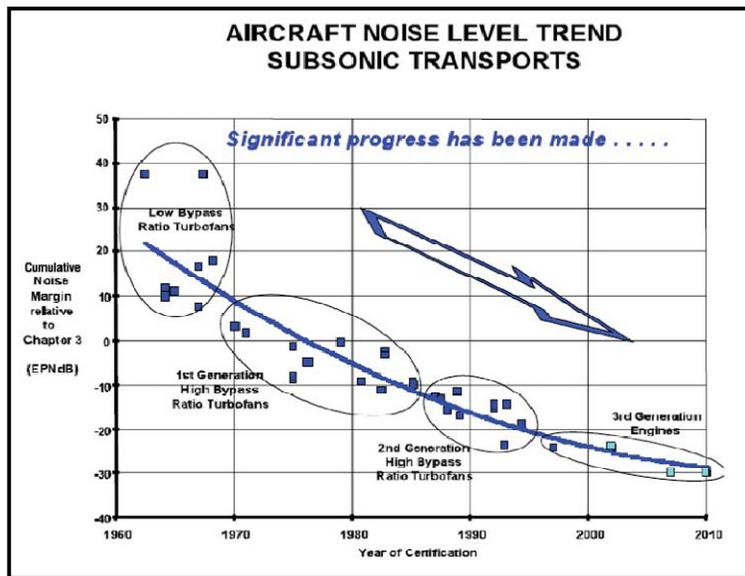


Figura 4.2 - Os níveis de ruídos de modelos de aeronaves comerciais dentro de um período de tempo.

Fonte: Grupo de Trabalho de Indústria Internacional - Quinta Edição R1, 2007.

No âmbito da ICAO, o ruído na fonte tem sido controlado desde o início pelo estabelecimento de limites de ruído para aeronaves sob a forma das suas normas, nomeadamente o Anexo 16 da Convenção de Chicago. O Anexo 16 é dividido em dois volumes, o volume I do referido anexo trata do ruído e o volume II é dedicado as emissões dos motores. A ICAO considera que o regime de certificação do ruído global é de todo o ruído produzido pelo funcionamento de uma aeronave, incluindo o motor e a estrutura.

É conveniente notar que a primeira geração de aviões *jetpowered* não era abrangida pelo Anexo 16 e que estes são conseqüentemente designados como NNC¹⁵ (por exemplo, Boeing 707 e Douglas DC-8).

A primeira reunião da CAN¹⁶ da ICAO, em 1971, desenvolveu um conjunto de normas que limitam o ruído; em essencial, garantiam que qualquer nova aeronave que entrasse em serviço teria de utilizar a melhor tecnologia disponível de redução do ruído. As primeiras normas, que passaram a ser aplicadas em agosto de 1973, definiam limites sonoros como uma função direta da MTOM¹⁷. Este foi o reconhecimento para o fato de que a aeronaves mais pesadas, que eram capazes de transportar grandes quantidades de passageiros e de cargas, seriam inerentemente mais ruidosas do que as aeronaves mais leves.

Essas normas aparecem no capítulo 2 do Anexo16, volume I. O Boeing 727 e o Douglas DC-9 são exemplos de aeronaves abrangidos pelo Capítulo 2. Esses limites foram estabelecidos para três pontos medição: ao lado da pista sobre a decolagem no âmbito do percurso de vôo em subida, após a decolagem, e sob o vôo sobre a abordagem da aterrízagem; esse assunto será mais bem detalhado na seção seguinte.

As normas são de aplicabilidade limitada uma vez que elas se aplicam apenas aos novos modelos de aeronaves certificadas após 1 de janeiro de 1969. No entanto, todos os princípios aplicados no desenvolvimento dos primeiros conjuntos de normas foram mantidos para a fixação de normas posteriores de limitação de ruído.

4.2. Classificações das aeronaves

A ICAO, através do seu Anexo 16 classifica as aeronaves de acordo com o seu ruído, emitindo certificados de ruído de acordo com o nível de ruído medido em EPN¹⁸ (dB).

¹⁵ NCC - Aeronaves de ruídos não certificados

¹⁶ CAN - *Committee on Aircraft Noise* – Comissão de Ruído de Aeronaves

¹⁷ MTOM - *Maximum Take-Off Mass* - Massa máxima de decolagem

¹⁸ EPN - *Effective Perceived Noise* – Ruído efetivamente perceptível

As medidas de EPNL consistem em um esquema de ponderação da frequência consideravelmente mais complicada que o filtro de ponderação 'A' usado para determinar SEL's. Elas incorporam uma penalidade para a presença de tons puros para contabilizar um maior incômodo das pessoas com as frequências simples, tais como os tons que emanam do compressor dos motores de turbofan. Assim, embora os valores específicos devessem ser determinados pela análise computacional de um sinal, o EPNL tem sido adotado para certos usos especializados envolvendo o ruído de sobrevôos individuais.

Estes certificados de ruído emitidos pelo a ICAO em EPN(dB) são medidos em três pontos certificados: dois na decolagem e o terceiro na aterrissagem. Estes pontos estão representados na figura (4.3), (4.4) e (4.5).

1. *Approach* (Aproximar): 2 km da pista Limiar (limite), sob a abordagem vôo.

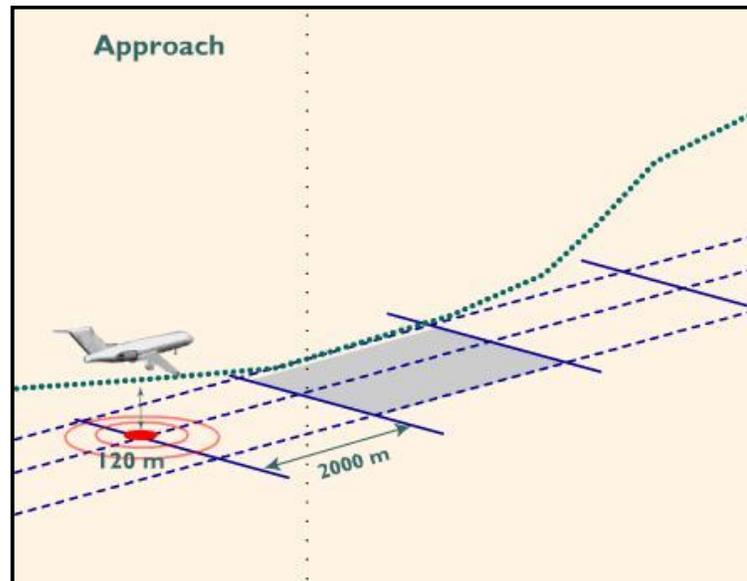


Figura 4.3 - Pontos de referência - *Approach*.

Fonte: ICAO (2008).

2. *Sideline*: a medição do ruído mais elevado registrado (lateralmente) em qualquer ponto 450 m do eixo da pista durante a decolagem;

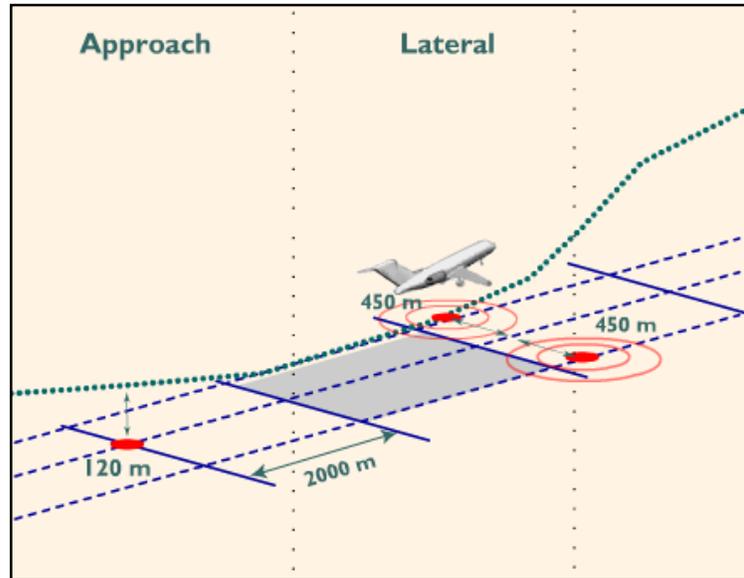


Figura 4.4 - Pontos de referência – *sideline* / lateral.

Fonte: ICAO (2008).

3. *Fly-over* (sobrevoo): 6,5 km a partir do ponto de frenagem, sobre o percurso de vôo de decolagem;

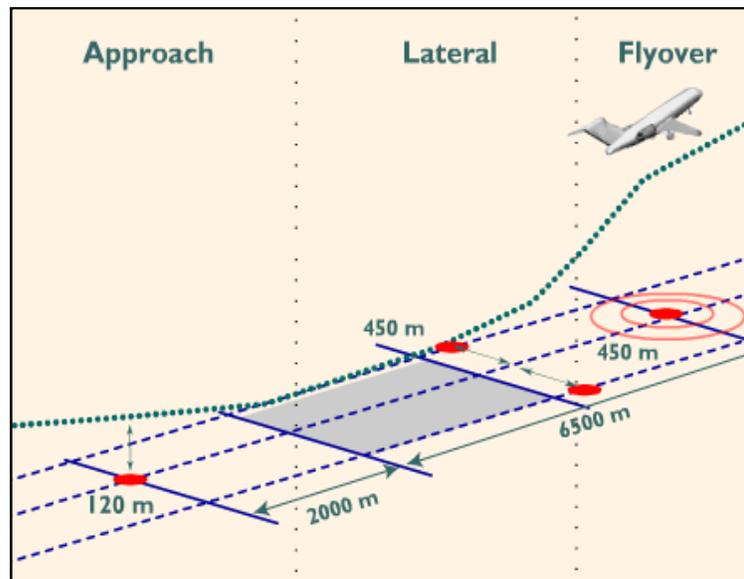


Figura 4.5 - Pontos de referência - *Flyover*.

Fonte: ICAO (2008).

Níveis acumulados são definidos como a soma aritmética dos níveis de certificação em cada um dos três pontos.

De acordo com essas medições as aeronaves são classificadas em:

- NNC, Muito Ruidoso;
- Capítulo 2, Ruidoso;
- Capítulo 3, Menos Ruidoso e;
- Capítulo 4, Ainda menos Ruidoso.

Estes capítulos se referem a capítulos do Anexo 16 - parte 1 da Convenção de Chicago. Cada capítulo define uma classe de aeronaves.

O Capítulo 4 é o mais recente, ele é aplicável a certificação de tipos de aeronaves posteriores a janeiro de 2006. O Anexo 16 também contém disposições para o certificado de aeroplanos impulsionados por hélice e helicópteros. Os padrões ambientais são desenvolvidos para serem tecnologicamente praticáveis, ambientalmente convenientes, e economicamente razoáveis. As relações entre ruído e emissões também são tomadas em consideração.

4.2.1 Padrões - Capítulo 3

Os primeiros limites sonoros aplicaram-se apenas aos jatos e foram baseadas nas características do ruído dos motores. Novas tecnologias propiciaram maior economia de combustíveis, e também resultaram em motores menos ruidosos. Com este novo desenvolvimento foi possível aumentar o rigor das normas de ruído do Anexo 16 para garantir que todos os futuros aviões utilizar-se-iam dessas novas tecnologias silenciosas. Isso foi feito pelo CAN e as novas normas foram publicadas no Capítulo 3 do Anexo 16, Volume I. Elas tornaram-se aplicáveis em Outubro de 1977 e aplicadas a todos os tipos de aviões certificados após essa data. O Boeing 737-300, Boeing 737-400, Boeing 767 e o Airbus 319 são exemplos de aeronaves abrangidas pelo presente Capítulo. A figura (4.6) identifica as principais fontes de ruído em uma aeronave.

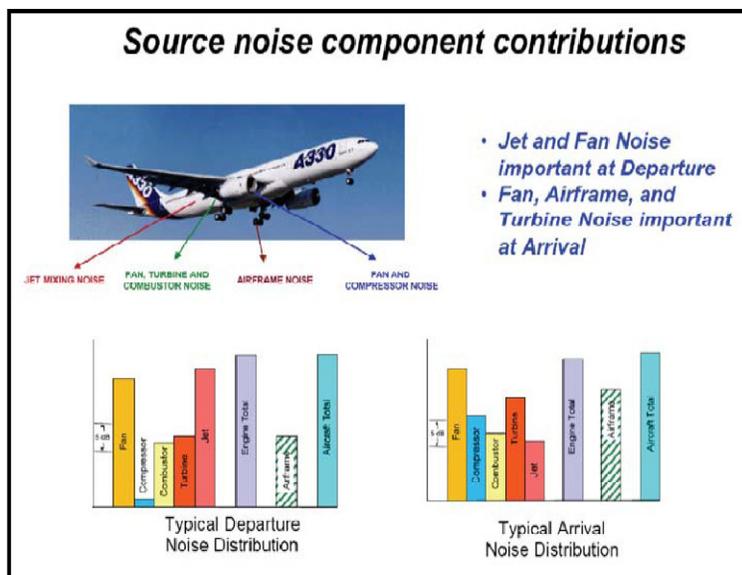


Figura 4.6 - Contribuições totais de componentes típicos para o ruído de uma aeronave moderna *turbofanpowered*.

Fonte: ICCAIA¹⁹ (2007).

Ao longo dos anos, esses requisitos foram ampliados para incluir tipos de aeronaves com diferentes motores de jatos, e também para incluir helicópteros. Limites de ruído passaram a ser aplicáveis em 1975 para aeronaves a hélice leves e em 1977 para aeronaves a hélice pesadas. Em 1981, limites de ruído para helicópteros foram introduzidos. Todas estas disposições têm, com o tempo, sido aperfeiçoadas e ampliadas.

4.2.2 Padrões - Capítulo 4

As indústrias aeronáuticas estão continuamente pesquisando e desenvolvendo tecnologias para reduzir o ruído de aeronaves e se esforçando para ter uma melhor compreensão das fontes de ruído destas. Conseqüentemente, a inclusão de material absorvente de ruído nos motores e em todo o projeto da nacele, bem como, refinamentos mecânicos nos motores, juntamente com ajustes na fuselagem, têm incrementalmente contribuído para reduzir ainda mais o ruído da potência do jato da

¹⁹ ICCAIA - *International Coordinating Council of Aerospace Industries Associations* - Coordenadora do Conselho Internacional de Associações de Indústrias Aeroespaciais

aeronave. Embora nenhuma destas melhorias individualmente tenha acompanhado o avanço que veio a partir do aumento do *bypass ratio*²⁰, juntas foram significativas.

Na 5th reunião do CAEP²¹ da ICAO, foi acordado que uma nova alteração dos limites sonoros dos jatos poderia ser introduzida. Concluiu-se que apesar de não apresentar nenhum aumento severo no limite de ruído em qualquer um dos pontos de medição, era razoável introduzir um limite para a soma dos índices de ruído em todos os três pontos. Desta forma, decidiu-se que esta soma teria de ser menor (até 10dB) do que a soma dos limites impostos pelo Capítulo 3 do Anexo 16.

Outra exigência foi que a soma dos níveis medidos em quaisquer dois pontos de medição teriam de ser inferiores à soma dos limites correspondentes ao Capítulo 3 por pelo menos 2dB. Em março de 2002, tais requisitos, passaram a ser aplicados. Esta mudança na abordagem ao método de aplicação dos limites sonoros, assegurando simultaneamente uma redução global da poluição sonora, ainda permitia alguns fabricantes a liberdade de tirar vantagem de grandes melhoras em alguns pontos de medição compensando reduções, ou sem reduções, em outros.

Outras alterações ao Anexo 16, Volume I, são propostas para a aplicação em novembro de 2008. Essa proposta inclui: disposições relativas às condições atmosféricas no teste de certificação do ruído e condições de medição (por exemplo, classificação de definições que se relacionam com velocidades de vento), a medição do ruído das aeronaves percebidas no solo, método para a avaliação de certificação do ruído dos helicópteros, e uma atualização das orientações para a obtenção de dados acústicos de helicópteros para um ordenamento do uso do solo. A figura (4.7) apresenta uma ilustração da redução dos limites sonoros ao longo do tempo.

²⁰ *Bypass ratio* - O termo BPR (Razão de Diluição), diz respeito à concepção dos motores turbofan, comumente utilizado na aviação. É a razão entre o fluxo de massa de ar que passa pelo duto e o fluxo de massa de ar que passa pelo centro do motor.

²¹ CAEP - *Committee on Aviation Environmental Protection* – sucessora da CAN

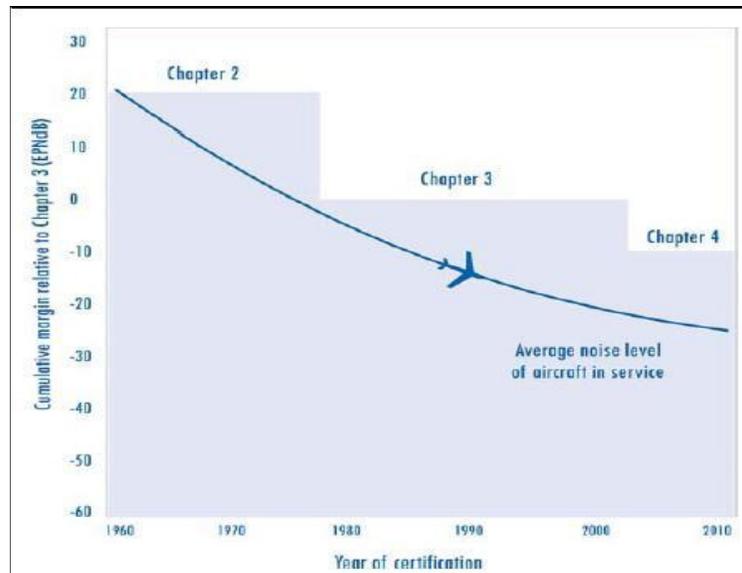


Figura 4.7 - Os progressos realizados na redução do ruído na fonte desde a implementação das normas do ruído de aeronaves.

Fonte: ICAO (2007).

4.3. O papel da ICAO e a Abordagem Equilibrada

O ruído aeronáutico é um dos impactos mais difíceis e complexos de serem mitigados, envolvendo não só a administração aeroportuária, mas principalmente as companhias aéreas e gestores municipais. Os princípios do “*Balanced Approach*”²² (ICAO, 2004) orientam que a redução de ruído na fonte deve ser estimulada e aplicada na revisão das normas de ruído aeronáutico – como as normas de Certificação de Ruído no Anexo 16.

A Abordagem Equilibrada, conforme idealizada na resolução A33-7 propicia aos Estados contratantes da ICAO uma abordagem acordada internacionalmente para tratar dos problemas de ruído aeronáutico onde ocorrerem - em uma abordagem específica para cada aeroporto - de forma ambiental e economicamente responsável. A Abordagem Equilibrada oferece uma forma flexível de identificar um problema específico de ruído, fornecendo soluções enfocadas e adaptadas à situação do aeroporto em particular em um processo transparente.

²² Abordagem Equilibrada

O conceito de “Abordagem Equilibrada” consiste em integrar as diversas políticas de controle de ruído adotadas em vários países, considerando 4 aspectos:

- Atenuação do ruído na fonte (aeronaves mais silenciosas);
- Planejamento e gestão do uso do solo no entorno dos aeroportos;
- Procedimentos operacionais;
- Restrições operacionais.

Os principais objetivos da Abordagem Equilibrada são:

- Estabelecer regras aplicáveis para favorecer a introdução de restrições de operação de modo coerente nos aeroportos, de forma a limitar ou reduzir o número de pessoas afetadas pelos efeitos nocivos do ruído;
- Criar um quadro que satisfaça as exigências do mercado interno;
- Promover um desenvolvimento da capacidade aeroportuária que respeite o ambiente;
- Favorecer a realização de objetivos específicos de redução do ruído em nível de cada aeroporto;
- Permitir uma escolha entre as medidas possíveis para obter o máximo benefício possível para o ambiente ao menor custo.

Sobre as “Medidas de ordenamento e gestão uso do solo”, um modo eficiente de reduzir o efeito do ruído nas pessoas que vivem próximo dos aeroportos é planejando e gerenciando o uso do solo ao redor destes. Tanto o número de pessoas como as suas atividades são fatores importantes a serem considerados. Em geral, escolas, hospitais, as instituições religiosas e as bibliotecas são usos do solo considerados incompatíveis com atividades aeronáuticas e por isso devem ser evitadas nas proximidades dos aeroportos.

Como os aviões ficam mais silenciosos, reduções significantes da área afetada pelo ruído são observadas.

A orientação da ICAO para esse assunto encontra-se no APM²³ - Parte 2 - Uso da Terra e Controle Ambiental (Doc. 9184) e no guia da Abordagem Equilibrada para o gerenciamento do ruído de aeronaves (Doc. 9829). O APM fornece orientações para o uso de vários instrumentos, com o objetivo de: minimizar, controlar ou prever o impacto do ruído de aeronaves nas proximidades dos aeroportos, descrevendo as práticas adotadas para o planejamento do uso do solo e gerência por alguns Estados. Além do mais, com a intenção de promover um método uniforme de avaliar o ruído em volta dos aeroportos, a ICAO recomendou o uso da metodologia contida em “*Recommended Method for Computing Noise Contours around Airports*”²⁴.

O planejamento de uso do solo e as medidas de gerenciamento incluem: divisão em zonas de ruído, medidas de mitigação como programas de isolamento, realocação do ruído, instrumentos financeiros como estímulos fiscais e taxas relacionadas aos ruídos aeroportuários. No contexto de taxas relacionadas com o ruído, podem-se incluir os preços de: monitorização de ruído, aquisição de casas e terrenos em áreas afetadas pelo ruído, entre outros.

Quanto aos “Procedimentos Operacionais para redução de ruído” é possível realizar reduções de ruído em um período de tempo relativamente curto por modificações nos procedimentos operacionais das aeronaves. De fato, os procedimentos de mitigação de ruídos são usados para redistribuir o ruído produzido durante o voo para aliviar o impacto do ruído nas áreas mais sensíveis. Há várias medidas operacionais que podem ser adotadas, como as manobras especiais de ruído durante a decolagem e o pouso, reduzindo assim o número de pessoas expostas ao ruído em zonas específicas em torno dos aeroportos. Procedimentos de atenuação do ruído estão contidos nos Procedimentos de Serviços de Navegação Aérea — Operações de Aeronaves, Volume I - Procedimentos de Voo (Doc. 8168), Parte I, Seção 7.

De acordo com a Abordagem Equilibrada, “Restrições Operacionais para Aeronaves” são definidas como qualquer ação relacionada com o ruído que limitam ou reduzem o acesso de uma aeronave em um aeroporto. Restrições de operações podem melhorar o ambiente acústico limitando o acesso de todas as aeronaves durante certas

²³ APM - *Airport Planning Manual* – Manual de planejamento de aeroportos

²⁴ Esse documento da ICAO substitui a circular ICAO 205 e foi publicado em 2008

horas do dia ou proibindo certos movimentos de aeronaves em um aeroporto. A ICAO não incentiva a aplicação de medidas de restrições operacionais de aeronaves como um primeiro recurso, os outros elementos da Abordagem Equilibrada devem ser considerados em primeiro lugar.

CAPÍTULO 5 - INDICADOR DE DESBALANCEAMENTO SONORO

5.1. Critérios de Seleção de Aeroportos

No Brasil, a Infraero²⁵ administra um total de 67 aeroportos, que representam mais de 97 % da rede de transporte aéreo do país (Infraero, 2008). A companhia possui estudos amplos sobre o desempenho de seus aeroportos, tendo por base seu documento interno “Ato Administrativo 193/SEDE/90” (Infraero, 1990), onde são definidos os critérios de seleção adotados por esta dissertação.

Os aeroportos são classificados por pontuação sobre sua engenharia de infra-estrutura, a sua infra-estrutura operacional e pelos seus indicadores administrativos. O documento classifica os aeroportos dentro de 5 grupos, sendo que o grupo “1” implica os maiores aeroportos no Brasil (tabela 5.1).

Tabela 5.1 - Grupo 1 – Aeroportos Brasileiros

Nome do Aeroporto	Acrônimo
Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Gov. A.F.M	SBGR
Aeroporto Internacional de Congonhas/São Paulo	SBSP
Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas	SBKP
Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão - A.C. J	SBGL
Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins)	SBCF
Aeroporto Santos Dumont	SBRJ
Aeroporto de Belo Horizonte (Pampulha)	SBBH
Aeroporto Internacional Salgado Filho (Porto Alegre)	SBPA
Aeroporto Internacional Afonso Pena (Curitiba)	SBCT
Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre	SBRF
Aeroporto Internacional de Salvador – Dep. Luís Eduardo Mag.	SBSV
Aeroporto Internacional Pinto Martins (Fortaleza)	SBFZ
Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente JK	SBBR
Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Manaus)	SBEG
Aeroporto Internacional de Belém	SBBE

Fonte: GERA / Infraero (2008)

²⁵ Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária

Nesta dissertação são estudados os seguintes aeroportos: Congonhas, Recife e Curitiba, sendo estes representativos nas regiões as quais eles pertencem. O aeroporto de Pampulha (Belo horizonte), também é citado, visto que este é um caso especial, por não possuir aeronaves Capítulo 2 em sua frota e, também, vôos noturnos. A tabela (5.2) lista os aeroportos citados.

Tabela 5.2 - Aeroportos Brasileiros Escolhidos.

Nome do Aeroporto	Acrônimo
Aeroporto Internacional de Congonhas/São Paulo	SBSP
Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes – Gilberto Freyre	SBRF
Aeroporto de Belo Horizonte (Pampulha)	SBBH
Aeroporto Internacional Afonso Pena (Curitiba)	SBCT

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Para aplicar a metodologia, esta dissertação considerou o banco de dados da Infraero de 2005 (Valim et.al., 2007). Do relatório de 2005 para o mês operacional mais ocupado, um movimento médio para o dia foi calculado para cada sítio.

O relatório tem informações técnicas como: operações diárias de aeronaves, identificação dos tipos de aeronaves, tempo de decolagem, tempo de aterrissagem, entre outros. Do relatório dos aeroportos estudados, a seguinte análise foi feita:

- Cálculo da média dos movimentos para 24 horas;
- Cálculo do número de movimentos diurnos e noturnos;
- Classificação de aeronaves como Capítulo 2 ou 3 – baseado na ICAO;
- Cálculo dos movimentos totais de aeronaves pela sua classificação;

As informações técnicas relativas aos tipos de aeronaves e períodos de operação são importantes para estimar quanto impacto acústico uma operação de uma frota de aeronaves pode fazer nas vizinhanças de um aeroporto.

5.2. Fatores de Equivalência entre aeronaves

Um fator relevante para a implementação das ferramentas propostas são as relações entre os períodos noturnos e diurnos, que podem ser determinadas a partir das curvas de ruído simuladas usando o programa INM. Com as simulações foi possível identificar a partir das variações das curvas de ruído em DNL que cada movimento noturno de aeronaves é equivalente a 10 movimentos diurnos.

Após a realização de simulações, considerando aeronaves Capítulo 2 e 3 decolando e aterrissando, pelo programa INM, concluiu-se que a relação entre uma aeronave Capítulo 2 para outra de Capítulo 3 tem um peso de ordem 7 (tabela 5.3).

Tabela 5.3 - movimentos equivalentes a período de 24 horas pela classificação da ICAO.

Períodos Capítulos	Diurno	Noturno
2	7	70
3	1	10

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

Para os cálculos desta dissertação foram consideradas apenas as aeronaves com vôos regulares.

5.3 O cálculo de Δ para identificar a relação entre voos noturnos e diurnos nos aeroportos.

5.3.1 Relação entre DNL, L_{AeqD} e L_{AeqN} .

Como foi visto na seção 3.3, o Brasil adota o método denominado Índice Ponderado de Ruído (IPR), que nada mais é do que a métrica DNL para o cálculo do incômodo produzido por aeronaves.

$$IPR = DNL = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{L_d/10} + 9 \cdot 10^{(L_n+10)/10} \right) \right)$$

Ela pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\text{DNL} = 10\log_{10} \left(\frac{1}{24} \left[15 \cdot 10^{\frac{L_{AeqD}}{10}} + 90 \cdot 10^{\frac{L_{AeqN}}{10}} \right] \right) \quad (5.1)$$

Se considerarmos L_{AeqN} como sendo igual a $L_{AeqD} - \Delta$, sendo Δ a amplitude acústica, isso possibilitará estabelecer uma relação direta entre DNL e L_{AeqD} .

$$\begin{aligned} \text{DNL} &= 10\log_{10} \left(\frac{1}{24} \left[15 \cdot 10^{\frac{L_{AeqD}}{10}} + 90 \cdot 10^{\frac{L_{AeqD}-\Delta}{10}} \right] \right) \quad (5.2) \\ &= 10\log_{10} \left(\frac{15}{24} 10^{L_{AeqD}/10} + \frac{90}{24} 10^{L_{AeqD}/10} \cdot 10^{-\Delta/10} \right) \\ &= 10\log_{10} \left[10^{L_{AeqD}/10} \left(\frac{15}{24} + \frac{90}{24} 10^{-\Delta/10} \right) \right] \\ &= 10 \left\{ \log_{10} 10^{L_{AeqD}/10} + \log_{10} \left(\frac{15}{24} + \frac{90}{24} 10^{-\Delta/10} \right) \right\} \end{aligned}$$

Isso leva para:

$$\text{DNL} = L_{AeqD} + 10\log_{10} \left(\frac{1}{24} \left[15 + 90 \cdot 10^{\frac{-\Delta}{10}} \right] \right) \quad (5.3)$$

Uma vez que, se $\Delta = 10$ então $\text{DNL} = L_{AeqD}$ e se $\Delta = 0$ então $\text{DNL} = L_{AeqD} + 6.4$ dB.

Se somente um tipo de aeronave que usa o aeroporto for considerado, um nível de exposição sonora (SEL_1) é gerado, e a seguir pode ser considerada:

$$\begin{aligned} SEL_D &= SEL_1 + 10\log_{10} N_D \\ SEL_N &= SEL_1 + 10\log_{10} N_N \\ L_{AeqD} &= SEL_D - 10\log_{10} (P_D) \\ L_{AeqN} &= SEL_N - 10\log_{10} (P_N) \end{aligned}$$

$$L_{AeqD} = SEL_1 + 10\log_{10} N_D - 10\log_{10} (P_D) \quad (5.4)$$

$$L_{AeqN} = SEL_1 + 10\log_{10} N_N - 10\log_{10} (P_N) \quad (5.5)$$

Considerando: $\Delta = L_{AeqD} - L_{AeqN}$

$$\Delta = SEL_1 + 10\log_{10} N_D - 10\log_{10} (P_D) - [SEL_1 + 10\log_{10} N_N - 10\log_{10} (P_N)]$$

$$\Delta = 10\log_{10} \frac{N_D}{P_D} - 10\log_{10} \frac{N_N}{P_N}$$

$$\Delta = 10\log_{10} \frac{N_D}{P_D} \times \frac{P_N}{N_N} \quad (5.6)$$

- Onde SEL_1 é o nível de exposição sonora gerada por um por um movimento de um toque na pista (TGO²⁶) de uma aeronave representativa de um aeroporto;
- O SEL_D é o nível de exposição sonora global em um receptor, gerado por movimentos de aeronaves durante o dia (15 h);
- O SEL_N é o nível de exposição sonora global em um receptor, gerado por movimentos de aeronaves durante a noite (9 h);
- O N_D é o número de movimentos de aviões diurnos;
- O N_N é o número de movimentos de aviões noturnos;
- O P_D é a duração do período diurno;
- O P_N é a duração do período noturno.

Nesta dissertação foram consideradas aeronaves Capítulo 2 e 3, cuja relação entre o período noturno e período diurno, com o auxílio da tabela (5.3), é a seguinte:

$$\text{Período Diurno: } \frac{7N_2+N_3}{15} \quad \text{e} \quad \text{Período Noturno: } \frac{7N_2+N_3}{9}$$

Então de acordo com a equação (5.6) e a tabela (5.3) citada anteriormente, pode-se considerar o seguinte:

$$\Delta = 10\log_{10} \left(\frac{7N_2+N_3}{15} \times \frac{9}{7N_2+N_3} \right) \quad (5.7)$$

²⁶ *touch and go*

5.4 Ferramenta proposta

5.4.1. Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS)

O Indicador de Desbalanceamento Sonoro para o impacto de ruído de aeronaves proposto nesta dissertação é um valor representativo de quanto é possível reduzir o ruído produzido, baseando-se na utilização da metodologia preconizada fundamentada na Abordagem Equilibrada.

O objetivo do Indicador é ajudar na identificação daqueles aeroportos que precisam priorizar ações de mitigação para ruído de aeronaves. De acordo com a figura (5.1), os aeroportos podem ser caracterizados em quatro diferentes situações (Valim et.al., 2007):

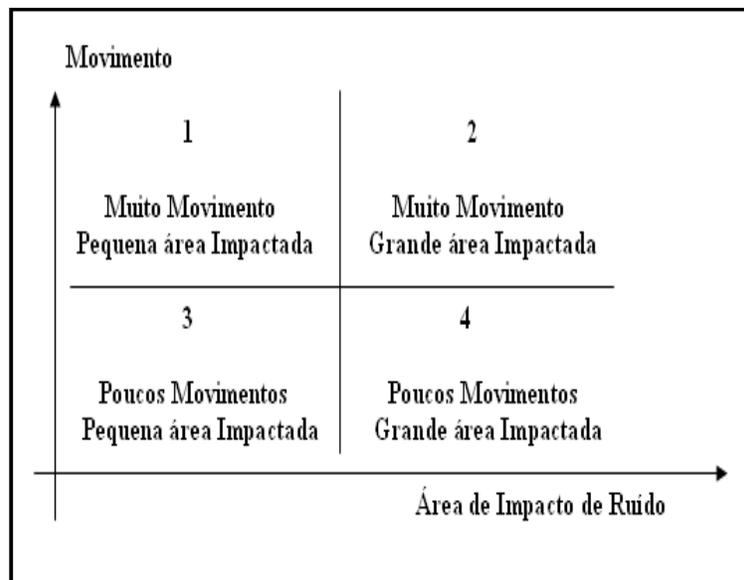


Figura 5.1 - Caracterização de Aeroportos.

Fonte: Valin/GERA (2007).

A situação número “4” reflete a pior situação que um aeroporto pode ter. Se o impacto de algumas operações for grande, os aviões são certamente na maioria NNC e Capítulo 2 (segundo a classificação de ICAO); ou existe a possibilidade de uma elevada concentração de vôos noturnos em comparação com outros aeroportos.

A situação número “1” reflete a condição mais desejada. Embora o aeroporto tenha muitos movimentos, considera-se que os aviões são em sua maioria Capítulo 3 - segundo a classificação da ICAO - e as operações noturnas são insignificantes, conseqüentemente a área impactada pelo ruído tende a ser pequena. A redução da área impactada pode ser obtida pela adoção de diversas medidas, tais como: implementação de barreiras de ruído, controle ativo de ruído, modificações nos procedimentos de decolagens e aterrissagens, entre outros.

O propósito do Indicador de Desbalanceamento Sonoro é estimar quanto desbalanceado o aeroporto se encontra de acordo com a Abordagem Equilibrada.

Considerando as aeronaves Capítulo 3 e seus movimentos, com o auxílio da tabela (5.3), obtém-se:

$$MT_{EQ3} = [(N_{3D}) F(3,D) + (N_{3N}) F(3,N)] \quad (5.8)$$

em que:

MT_{EQ3}: movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 3;

N_{3N}: número de movimentos noturnos equivalente para Capítulo 3;

N_{3D}: número de movimentos diurnos equivalente para Capítulo 3;

F(3,D) : Fatores de Equivalência para aeronaves Capítulo 3 com vôos diurnos; e

F(3,N) : Fatores de Equivalência para aeronaves Capítulo 3 com vôos noturnos.

Considerando as aeronaves Capítulo 2 e seus movimentos, com o auxílio da tabela (5.3), obtém-se:

$$MT_{EQ2} = [(N_{2D}) F(2,D) + (N_{2N})F(2,N)] \quad (5.9)$$

em que:

MT_{EQ2}: movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 2;

N_{2N}: número de movimentos noturnos equivalente para Capítulo 2;

N_{2D}: número de movimentos diurnos equivalente para Capítulo 2;

F(2,D) : Fatores de Equivalência para aeronaves Capítulo 2 com vôos diurnos; e

F(2,N) : Fatores de Equivalência para aeronaves Capítulo 2 com vôos noturnos.

A partir dos valores calculados anteriormente, o Indicador de Desbalanceamento Sonoro (I_1) pode ser descrito conforme a equação abaixo:

$$I_1 = (MT_{EQ3} + MT_{EQ2}) / MT_{Aer} \quad (5.10)$$

em que:

I_1 : Indicador de Desbalanceamento Sonoro;

MT_{EQ3} : movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 3;

MT_{EQ2} : movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 2; e

MT_{Aer} : movimento total de aeronaves para 24 horas.

O Indicador de Desbalanceamento Sonoro é utilizado quando se trabalha com N aeronaves distintas.

Sendo

$$NPS = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) \quad (5.11)$$

Para o caso de N aeronaves têm-se

$$NPS = 10 \log \left(I_1 \frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) + 10 \log I_1 \quad (5.12)$$

O Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro (IRDS) é calculado a partir do logarítmico do IDS. Ele mostra o quão perto está às operações do aeroporto para os ideais da Abordagem Equilibrada, e estima o potencial de redução do ruído em dB através de restrições de uso. Ele pode ser identificado na equação (5.12), como o fator de amplificação da equação (5.11). Quanto menor for esse indicador, menor é a possibilidade de redução do ruído através de medidas de restrições operacionais ou adoção de procedimentos operacionais com redução de ruído. A fórmula proposta é expressa por:

$$I_2 = 10 \log ((MT_{EQ3} + MT_{EQ2}) / MT_{Aer}) \quad (5.13)$$

em que:

I₂: Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro;

MT_{EQ3}: movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 3;

MT_{EQ2}: movimento equivalente total para aeronaves Capítulo 2; e

MT_{Aer}: movimento total de aeronaves para 24 horas.

Se uma comparação do indicador de desbalanceamento está sendo realizada sobre dois ou mais aeroportos que têm características similares na frota e no total de movimentos, tende-se ser mais fácil definir a prioridade de ações neles.

Segundo a legislação atual, não é permitido que aeronaves NNC operem no Brasil. Se no mês de estudo um pequeno número fosse identificado como NNC, eles seriam considerados como aeronaves Capítulo 2. As informações de cada aeroporto são mostradas na tabela (5.4).

Tabela 5.4 - Informações sobre os Aeroportos

Acrônimo	Média diária do Mês Mais Movimentado	Movimento Noturno de Aeronaves	Movimento Diurno de Aeronaves	Movimento de Aeronaves Capítulo 2	Movimento de Aeronaves Capítulo 3
SBSP	444,36	33,01	411,35	9,53	434,83
SBCT	156,06	30,40	125,66	2,89	153,17
SBBH	154,00	0,00	154,00	0,00	154,00
SBRF	113,00	36,00	77,00	11,00	102,00

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

O Indicador de Desbalanceamento Sonoro (I₁) pode ser calculado para cada aeroporto da tabela (5.4), aplicando a equação (5.10). Também, baseado no MT_{EQ2} e no MT_{EQ3} o Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro (I₂) é determinado usando a equação (5.13). Com a aplicação das equações (5.10) e (5.13), o planejador pode ter uma classificação dos aeroportos mais balanceados, quanto à percepção ao ruído, conforme a tabela (5.5).

Tabela 5.5 - Indicador de Desbalanceamento Sonoro (I_1) e Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro (I_2).

Acrônimo	Média diária do Mês Mais Movimentado	MT_{EO2}	MT_{EO3}	I_1	I_2
SBSP	444,36	68,60	731,65	1,80	2,55
SBCT	156,06	192,85	402,11	3,81	5,81
SBBH	154,00	0,00	154,00	1,00	0,00
SBRF	113,00	266,00	399,00	5,88	7,70

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

O Indicador de Desbalanceamento Sonoro foi calculado para o cenário operacional de 2005. Os resultados não podem ser adotados como Indicador de hoje, porque desde então, consideráveis mudanças aconteceram nas aeronaves em operação nos aeroportos estudados.

Uma consideração importante depois de aplicar o IDS é identificar o que se encontra dentro da área de influencia acústica do aeroporto. Considera-se que o impacto de ruído tem os mesmos problemas ao longo de todo sítio aeroportuário, porém, existem áreas próximas aos aeroportos em que a região pode ser habitada ou não, podendo ser uma área rural ou até uma superfície de água. Além disso, estando habitada, o planejador deve analisar quais os tipos de construção e quais as atividades se localizam nesta área.

Nos anexos N°02 e N°03, mostra a legislação ambiental vigente aplicada aos aeroportos de Recife e de Congonhas.

Das informações obtidas, na tabela (5.4), sobre os aeroportos estudados, é possível classificá-los pela porcentagem de Capítulo 2 e movimentos noturnos (tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Classificação para Capítulo 2 e movimentos noturnos.

Acrônimo	Média diária do Mês Mais Movimentado	Movimento de Capítulo 2 (%)	Movimentos Noturnos (%)
SBSP	444,36	2,14	7,43
SBCT	156,06	1,85	19,48
SBBH	154,00	0,00	0,00
SBRF	113,00	9,73	31,86

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

O SBSP é um aeroporto peculiar, mesmo que por lei ele não deva ter movimentos noturnos, salvo em ocasiões específicas, foram observados 7,43 % desses movimentos neste aeroporto. Ele é em todo caso um dos aeroportos mais balanceado com uma capacidade de redução de ruído de 2,55dB(A).

O SBRF, por outro lado, teve porcentagens de movimentos de aeronaves de Capítulo 2 significativas (9,73%), e foi o aeroporto que teve maior número de movimentos noturnos (31,86%). Ele obteve as porcentagens mais altas para cada parâmetro analisado na tabela (5.5), é o menos balanceado dentre os aeroportos estudados com uma capacidade de redução de ruído de 7,70dB(A).

O SBCT é um aeroporto que tem um número significativo de movimentos noturnos (19,48%), e um pequeno movimento de aeronaves Capítulo 2 (1,85%). O aeroporto de Curitiba mostrou-se como um meio termo entre os dois aeroportos já estudados.

O SBBH é um caso particular, apresentando apenas vôos diurnos e movimentos de aeronaves Capítulo 3. O aeroporto de Pampulha mostra o menor índice de desbalanceamento entre os aeroportos estudados e uma capacidade de redução de ruído nula, devido suas características.

Um grande número de vôos noturnos tem uma enorme influência no cálculo dos indicadores de desbalanceamento dos aeroportos estudados, a tabela (5.7) evidencia uma relação entre o cálculo de Δ e o IRDS, quanto maior é o valor de Δ menor é o IRDS, pois é menor o impacto de vôos noturnos sobre os movimentos do aeroporto.

Tabela 5.7 - Análise comparativa entre Δ e o IRDS.

Acrônimo	I₂	Movimentos Noturnos (%)	Δ
SBSP	2,55	7,43	9,3
SBCT	5,81	19,48	2,1
SBRF	7,70	31,86	1,4

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Em suma, o objetivo do Indicador de Desbalanceamento Sonoro é ajudar o planejador a verificar o impacto do ruído. É de salientar, também, que o cálculo dos contornos de ruídos usados no programa INM (ou algum outro que dê o contorno de ruído) é muito importante. Com o contorno, o planejador tem uma estimativa da área de impacto.

CAPÍTULO 6 – QUANTIFICAÇÃO DE PESSOAS RESIDENTES DENTRO DA ÁREA DA CURVA DE RUÍDO DNL 65dB(A)

6.1. Impacto ambiental

Com base nos dados de regiões censitárias fornecidas pelo IBGE²⁷ (2007) e pelo Ministério das Cidades (2007), foi possível fazer uma avaliação de quantas pessoas residem dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) ao redor dos aeroportos de Congonhas, Recife, Pampulha e Curitiba. Estes dados contam com a identificação da área, seu respectivo código, sua área, o número de residentes e a densidades.

6.1.1 Aeroporto de Congonhas

O Aeroporto de Congonhas, localizado na área central da cidade de São Paulo, encontra-se totalmente envolvido pela malha urbana (figura 6.1).

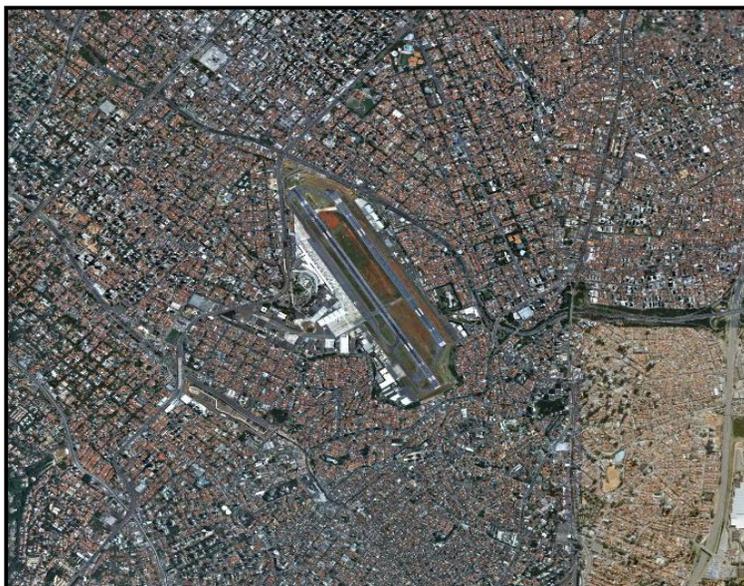


Figura 6.1 - Aeroporto de Congonhas, São Paulo, Brasil.

Fonte: GoogleEarth (2009).

²⁷ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

A figura (6.2) mostra a curva de nível de ruído DNL 65dB(A), em vermelho, para o aeroporto de Congonhas/São Paulo de acordo com os dados inseridos no INM. Este aeroporto caracteriza-se por ter duas pistas e ser densamente povoado ao seu redor.

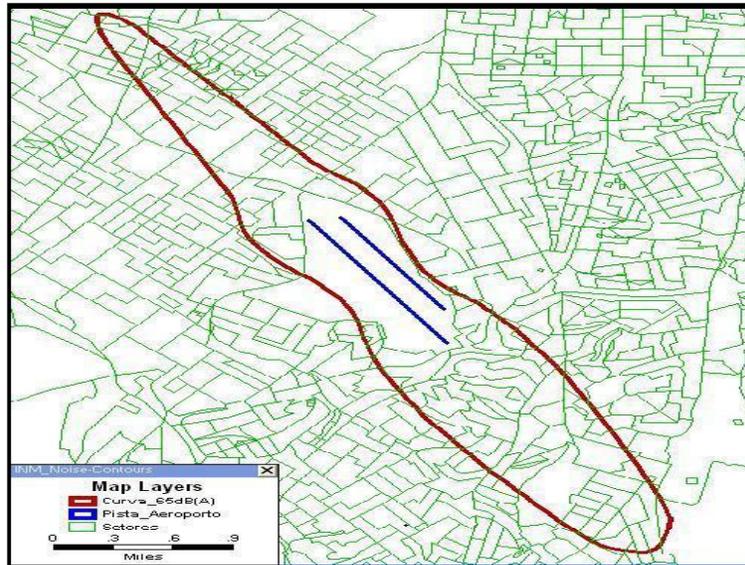


Figura 6.2 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e as pistas do Aeroporto de Congonhas, São Paulo, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

O Planejamento do uso do solo em seu entorno não tem seguido as diretrizes estabelecidas no Plano Específico de Zoneamento de Ruído – PEZR, aprovado desde 1982.

A inobservância por parte das autoridades municipais de São Paulo das restrições contidas neste plano possibilitou uma situação bastante conflitante, expondo a população localizada em seu entorno ao incômodo sonoro. Segundo dados históricos coletados pelo DAC²⁸ (1993), esta situação acarretou inúmeras reclamações por parte das comunidades vizinhas ao aeroporto, em relação ao ruído aeronáutico, principalmente noturno, que resultaram na restrição desse horário de funcionamento pelo aeroporto.

²⁸ Departamento de Aviação Civil

Assim, o aeroporto, desde 1993, apresenta restrições operacionais no período noturno. Nesse período são admitidas algumas exceções para operação noturna, tais como: operações de busca e salvamento ou operação de aeronave militar, desde que cumprindo ordem de missão e em relação a aeronaves engajadas em operações de salvamento da vida humana.

Os dados relativos do aeroporto de Congonhas aparecem na tabela (6.1). Os dados em questão, conforme já foram citados, foram obtidos no site do Ministério das Cidades (2007) e do IBGE (2007). Eles fornecem dados, como: código de identificação da área, seu respectivo tamanho, densidade e população.

Tabela 6.1 - Número de pessoas afetadas em Congonhas

SBSP – Congonhas				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	355030827000140	0,020	0,001	0,071
2	355030838000198	0,000	0,000	0,120
3	355030838000022	0,000	0,000	1,910
4	355030815000062	0,000	0,000	22,148
5	355030838000194	0,000	0,000	46,349
6	355030835000026	0,000	0,000	71,147
7	355030838000023	0,000	0,000	136,661
8	355030832000055	0,000	0,000	158,961
9	355030815000030	0,580	102,356	176,475
10	355030832000080	0,000	0,000	225,912
11	355030838000202	0,000	0,000	244,470
12	355030832000054	0,000	0,000	386,413
13	355030815000096	0,000	0,000	405,637
14	355030832000045	0,000	0,000	429,031
15	355030877000149	0,010	5,135	513,538
16	355030877000150	0,000	0,000	648,611
17	355030832000056	0,000	0,000	738,822
18	355030877000122	0,000	0,000	856,759
19	355030877000123	0,010	9,744	974,374
20	355030832000114	0,000	0,000	1180,591
21	355030838000129	0,000	0,000	1426,454
22	355030838000101	0,000	0,000	1537,646
23	355030832000137	0,040	62,040	1551,000
24	355030838000082	0,000	0,000	1662,346
25	355030832000132	0,010	16,872	1687,207
26	355030838000027	0,110	190,779	1734,351
27	355030815000097	0,010	17,425	1742,461
28	355030815000080	0,010	17,848	1784,771
29	355030835000011	0,010	18,086	1808,585
30	355030832000131	0,020	38,149	1907,426
31	355030838000185	0,010	20,082	2008,243
32	355030832000130	0,020	40,615	2030,733
33	355030835000004	0,020	43,266	2163,316

34	355030832000129	0,070	153,510	2193,000
35	355030832000125	0,000	0,000	2515,582
36	355030832000115	0,110	280,109	2546,444
37	355030832000126	0,000	0,000	2618,326
38	355030838000148	0,010	28,060	2806,015
39	355030815000060	0,020	56,595	2829,769
40	355030838000147	0,010	28,391	2839,137
41	355030877000151	0,010	28,467	2846,747
42	355030815000061	0,010	29,078	2907,810
43	355030832000135	0,010	31,493	3149,336
44	355030835000005	0,020	64,444	3222,199
45	355030815000033	0,000	0,000	3375,879
46	355030877000125	0,020	70,307	3515,328
47	355030838000184	0,010	38,669	3866,855
48	355030838000092	0,050	202,517	4050,332
49	355030838000150	0,020	82,433	4121,654
50	355030815000057	0,050	212,150	4243,000
51	355030838000090	0,020	89,260	4463,000
52	355030838000024	0,010	50,801	5080,072
53	355030832000094	0,010	51,071	5107,125
54	355030877000153	0,010	51,678	5167,841
55	355030815000059	0,030	158,313	5277,113
56	355030838000143	0,010	54,771	5477,113
57	355030838000048	0,020	115,014	5750,694
58	355030838000089	0,040	231,722	5793,040
59	355030815000098	0,030	192,564	6418,787
60	355030838000049	0,030	194,580	6486,000
61	355030838000137	0,030	199,800	6660,000
62	355030832000116	0,020	133,580	6679,000
63	355030877000152	0,030	215,370	7179,000
64	355030838000135	0,030	228,900	7630,000
65	355030838000091	0,030	240,240	8008,000
66	355030838000047	0,020	162,267	8113,340
67	355030838000134	0,030	244,530	8151,000
68	355030838000183	0,020	163,760	8188,002
69	355030815000055	0,010	82,191	8219,140
70	355030838000152	0,040	333,543	8338,570
71	355030815000078	0,030	253,492	8449,731
72	355030838000084	0,030	259,530	8651,000
73	355030838000181	0,030	262,170	8739,000
74	355030838000025	0,040	350,000	8750,009
75	355030815000058	0,020	183,260	9163,000
76	355030838000131	0,020	183,690	9184,519
77	355030815000079	0,040	372,160	9304,000
78	355030815000099	0,010	93,041	9304,144
79	355030832000117	0,030	279,810	9327,000
80	355030838000231	0,040	377,439	9435,964
81	355030838000201	0,010	99,232	9923,176
82	355030832000057	0,000	0,000	9946,764
83	355030838000086	0,010	102,500	10250,000
84	355030838000154	0,020	206,260	10313,000
85	355030838000182	0,020	218,087	10904,372
86	355030835000013	0,010	110,948	11094,809
87	355030838000145	0,010	111,171	11117,086

88	355030838000093	0,030	333,630	11121,000
89	355030838000155	0,020	231,463	11573,129
90	355030838000045	0,010	116,554	11655,380
91	355030832000118	0,020	237,300	11865,000
92	355030838000097	0,010	125,150	12515,000
93	355030838000083	0,030	396,757	13225,240
94	355030838000151	0,000	0,000	13391,386
95	355030838000132	0,030	404,730	13491,000
96	355030838000153	0,020	274,120	13706,000
97	355030838000094	0,020	275,760	13788,000
98	355030815000056	0,020	276,843	13842,141
103	355030835000025	0,000	0,000	14824,815
104	355030838000095	0,010	151,940	15194,000
99	355030832000081	0,000	0,000	13931,634
100	355030815000031	0,010	144,714	14471,389
101	355030838000087	0,030	437,220	14574,000
102	355030832000087	0,000	0,000	14777,229
105	355030838000133	0,020	304,800	15240,000
106	355030838000136	0,030	458,490	15283,000
107	355030838000046	0,010	153,634	15363,365
108	355030832000120	0,010	156,450	15645,000
109	355030832000136	0,010	165,940	16594,000
110	355030832000093	0,000	0,000	16641,905
111	355030838000099	0,010	169,241	16924,121
112	355030838000144	0,010	170,070	17007,000
113	355030835000012	0,010	171,950	17195,000
114	355030838000100	0,010	180,440	18043,965
115	355030838000051	0,020	366,940	18347,000
116	355030838000138	0,010	196,284	19628,416
117	355030838000085	0,010	210,310	21031,000
118	355030838000096	0,010	221,150	22115,000
119	355030838000052	0,010	232,060	23206,000
120	355030832000092	0,000	0,000	23730,017
121	355030838000098	0,010	237,410	23741,000
122	355030832000122	0,000	0,000	26329,000
123	355030838000088	0,010	285,140	28514,000
124	355030832000089	0,000	0,000	28708,291
125	355030832000127	0,010	309,490	30949,000
126	355030838000050	0,010	309,940	30994,000
127	355030832000128	0,010	334,450	33445,000
128	355030832000088	0,000	0,000	33578,346
129	355030832000086	0,000	0,000	40747,156
130	355030832000091	0,010	420,260	42026,000
131	355030832000090	0,010	451,020	45102,000
132	355030832000121	0,000	0,000	52197,000
133	355030838000051	0,000	0,000	71402,000
134	355030832000119	0,000	0,000	85800,000
135	355030815000032	0,000	0,000	177715,000
136	355030832000134	0,000	0,000	271829,000
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
2,67		17457,015		6538,21

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (6.1) considera que o número de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) é de aproximadamente 17457 pessoas.

6.1.2 Aeroporto de Recife

O Aeroporto Internacional de Recife/Guararapes encontra-se totalmente envolvido pela malha urbana (figura 6.3).

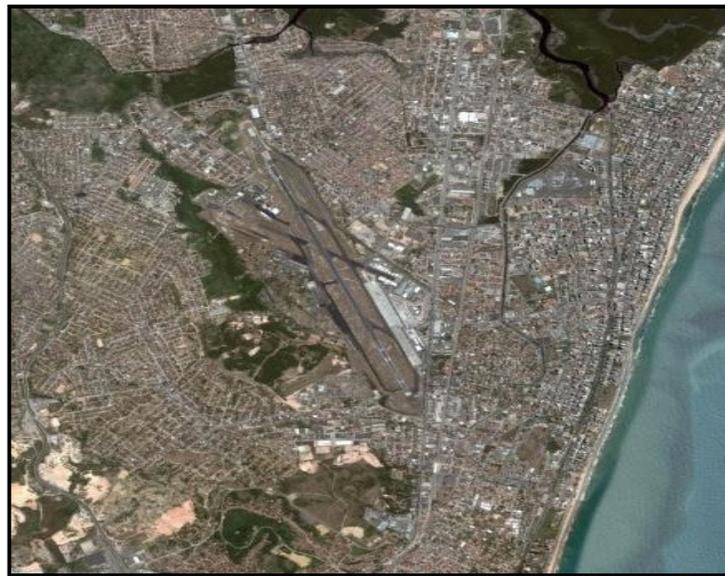


Figura 6.3 - Aeroporto de Recife, Pernambuco, Brasil.

Fonte: GoogleEarth (2009).

A figura (6.4) mostra a curva de nível de ruído DNL 65dB(A) para o aeroporto de Recife/Guararapes de acordo com os dados inseridos no INM. Pode-se observar que ela não só abrange o município de Recife, em verde na figura, como abrange também o município de Jaboatão dos Guararapes, em vermelho.

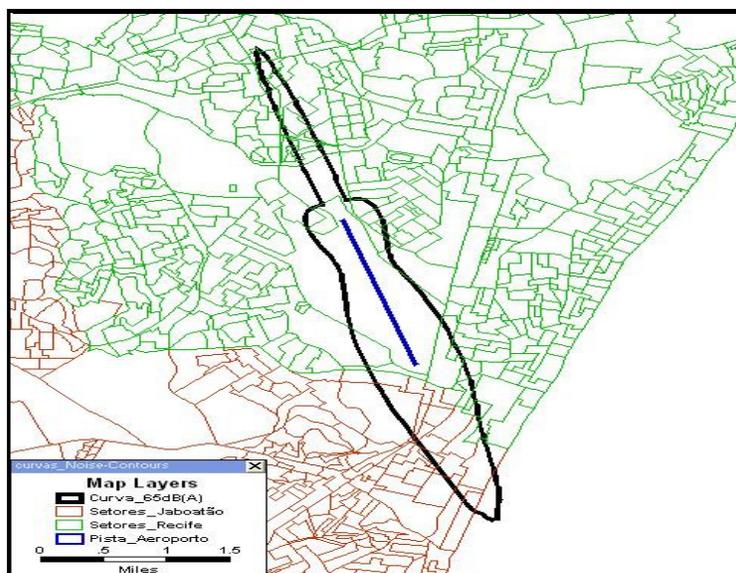


Figura 6.4 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Recife, Pernambuco, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Na tabela (6.2) aparecem os dados relativos do aeroporto de Recife e as pessoas residentes que se encontram dentro da área de ruído DNL 65dB(A) no município de Recife. Os dados em questão, conforme já foram citados, foram obtidos no site do Ministério das Cidades (2007) e do IBGE (2007). Eles fornecem dados, como: código de identificação da área, seu respectivo tamanho, densidade e população.

Tabela 6.2 - Número de pessoas afetadas em Recife

SBRF – Recife				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	261160605220130	0,00	0,00	4,828
2	261160605220198	0,00	0,00	65,430
3	261160605220119	0,00	0,00	179,294
4	261160605230006	0,02	4,07	203,510
5	261160605230007	0,08	24,82	310,231
6	261160605230037	0,00	0,00	338,829
7	261160605230221	0,00	0,00	386,567
8	261160605230004	0,94	473,22	503,426
9	261160605230216	0,03	16,46	548,602
10	261160605220104	0,00	0,00	613,314
11	261160605220103	0,03	18,57	618,899
12	261160605230005	0,15	126,98	846,547
13	261160605230050	0,00	0,00	1174,162
14	261160605220097	0,01	13,11	1311,251
15	261160605230002	0,02	31,88	1593,880
16	261160605230222	0,13	358,15	2755,022

17	261160605220100	0,00	0,00	3192,255
18	261160605230052	0,00	0,00	3708,736
19	261160605230035	0,02	76,23	3811,631
20	261160605230219	0,01	42,72	4272,244
21	261160605220101	0,02	86,84	4341,797
22	261160605220095	0,00	0,00	4889,683
23	261160605220128	0,03	154,06	5135,419
24	261160605230036	0,03	160,15	5338,336
25	261160605220199	0,01	54,32	5431,968
26	261160605230224	0,01	56,11	5611,024
27	261160605220102	0,01	56,35	5634,926
28	261160605220127	0,02	124,78	6238,828
29	261160605230220	0,01	63,62	6361,954
30	261160605230225	0,02	139,79	6989,500
31	261160605230293	0,03	266,41	8880,460
32	261160605220117	0,01	100,29	10028,854
33	261160605230049	0,01	111,12	11111,802
34	261160605230003	0,04	535,62	13390,376
35	261160605220096	0,01	140,68	14068,425
36	261160605220118	0,04	615,24	15381,000
37	261160605220098	0,01	192,23	19222,780
38	261160605220129	0,01	194,32	19432,238
39	261160605220099	0,01	224,11	22411,266
40	261160605230226	0,01	640,18	64018,000
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
1,78		5102,43		2866,53

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (6.2) considera que o número de pessoas residentes situadas dentro da curva de ruído DNL 65dB(A) é de aproximadamente 5102 pessoas.

Na tabela (6.3) aparecem os dados relativos do aeroporto de Recife e as pessoas residentes dentro da área da curva de ruído 65dB(A) no município de Jaboatão dos Guararapes. Os dados em questão, conforme já citado, foram obtidos no site do Ministério das Cidades (2007) e do IBGE (2007). Eles fornecem dados, como: código de identificação da área, seu respectivo tamanho, densidade e população.

Tabela 6.3 - Número de pessoas afetadas em Jaboatão

SBRF – Jaboatão dos Guararapes				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	260790105000091	0,10	24,32	243,244
2	260790105000012	0,01	5,08	508,323
3	260790105000014	0,02	11,71	585,655
4	260790105000013	0,02	13,42	670,870

5	260790105000039	0,10	187,53	1875,321
6	260790105000068	0,02	68,41	3420,612
7	260790105000132	0,05	172,81	3456,117
8	260790105000072	0,07	338,64	4837,714
9	260790105000038	0,05	289,63	5792,557
10	260790105000093	0,08	573,36	7167,000
11	260790105000134	0,03	247,59	8253,000
12	260790105000037	0,01	100,86	10085,545
13	260790105000133	0,04	428,88	10722,000
14	260790105000092	0,04	518,08	12952,000
15	260790105000071	0,03	389,74	12991,234
16	260790105000135	0,03	541,20	18040,000
17	260790105000070	0,02	500,49	25024,467
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
0,72		4411,75		6127,43

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (6.3) considerou que o número de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) era de aproximadamente 4412 pessoas.

A tabela (6.4) concatena os resultados das pessoas residentes situadas dentro da curva de ruído DNL 65 dB(A), em Recife e Jaboatão. Ela fornece uma idéia do número de pessoas residentes situadas dentro desta curva. É importante lembrar que a curva de ruído DNL 65dB(A), é um dos níveis de referência para estudos sobre o impacto de ruído de aeronaves no Brasil.

Tabela 6.4 – Resultado da concatenação Recife/Jaboatão

Curva DNL 65dB(A)		
Área (Mi2)	População Estimada	Densidade
2,55	9514,18	3731,051

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

6.1.3 Aeroporto de Pampulha

O Aeroporto Internacional de Pampulha encontra-se totalmente envolvido pela malha urbana (figura 6.5).

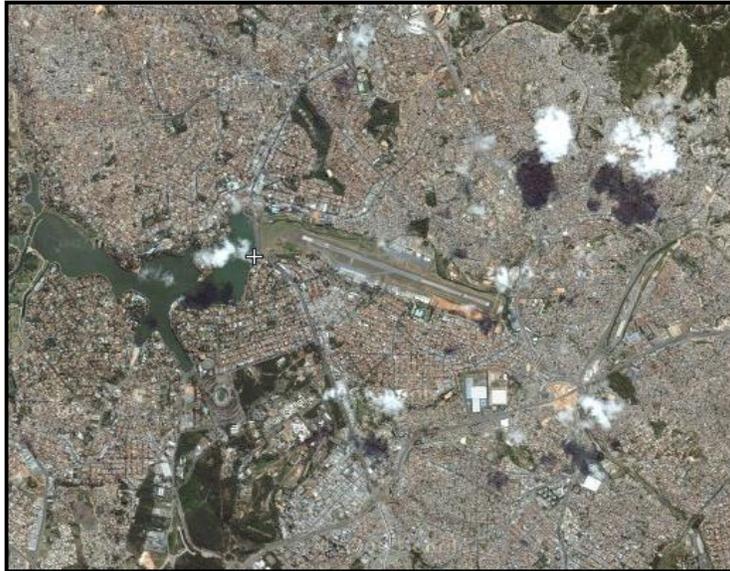


Figura 6.5 - Aeroporto de Pampulha, Minas Gerais, Brasil.

Fonte: GoogleEarth (2009).

A figura (6.6) exibe a curva de nível de ruído DNL 65dB(A), em vermelho, para o aeroporto de Pampulha/Minas Gerais de acordo com os dados inseridos no INM.

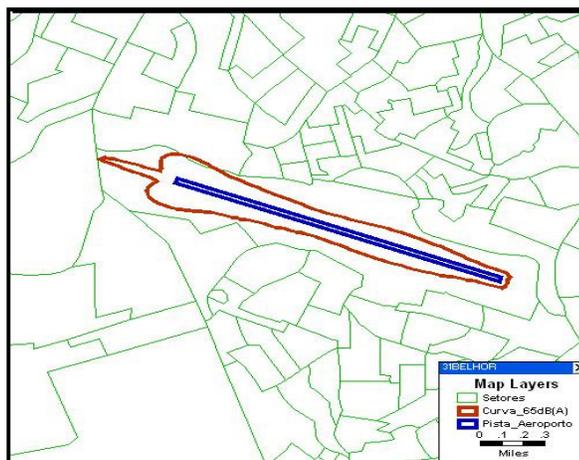


Figura 6.6 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Pampulha, Minas Gerais, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Na tabela (6.5) aparecem os dados relativos do aeroporto de Pampulha e as pessoas residentes situadas dentro da curva de ruído DNL 65 dB(A) no município de Belo horizonte. Os dados em questão foram obtidos no site do Ministério das Cidades (2007) e do IBGE (2007). Eles fornecem dados, como: código de identificação da área, sua respectiva área, densidade e população.

Tabela 6.5 - Pessoas afetadas em Pampulha dentro da curva de ruído DNL 65 dB(A).

SBBH – Pampulha				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	310620060680011	0,00	0,00	35,888
2	310620005680105	0,31	59,14	190,770
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
0,31		59,14		190,78

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (6.5) considera que o número de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) é de aproximadamente 59 pessoas. É importante lembrar que a curva de ruído em 65dB(A), é um dos níveis de referência para estudos sobre o impacto de ruído de aeronaves no Brasil.

6.1.4 Aeroporto de Curitiba

Localizado no município de São José dos Pinhais, o aeroporto Afonso Pena/Curitiba (PR), ainda apresenta pouca ocupação em seu entorno. A Prefeitura local tem consultado o Comando da Aeronáutica quando da solicitação de implantação de loteamentos próximos ao aeroporto.

Para visualizar melhor o aeroporto em estudo, a figura (6.7) mostra uma fotografia feita por satélite do aeroporto de Curitiba.

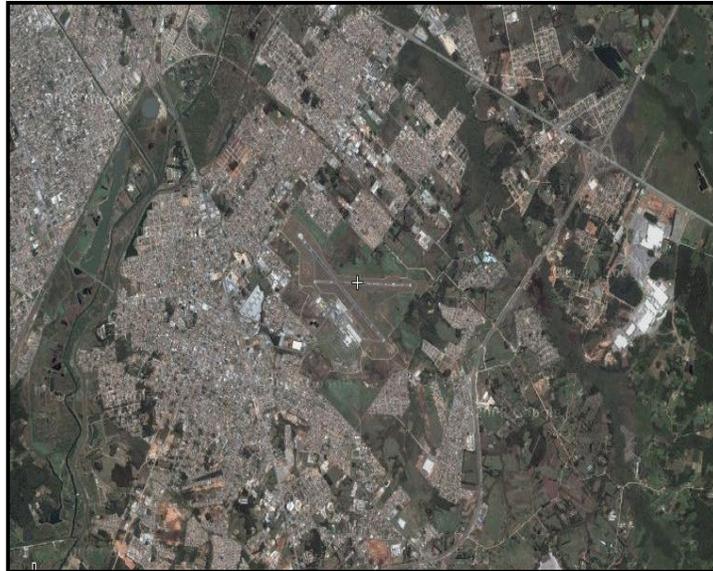


Figura 6.7 - Aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil.

Fonte: GoogleEarth (2009).

A figura (6.8) apresenta a curva de nível de ruído DNL 65dB(A) para o aeroporto de Curitiba de acordo com os dados inseridos no INM. Pode-se observar que ela não só abrange o município de São José dos Pinhais, em verde, como abrange também o município de Curitiba, em vermelho na figura.

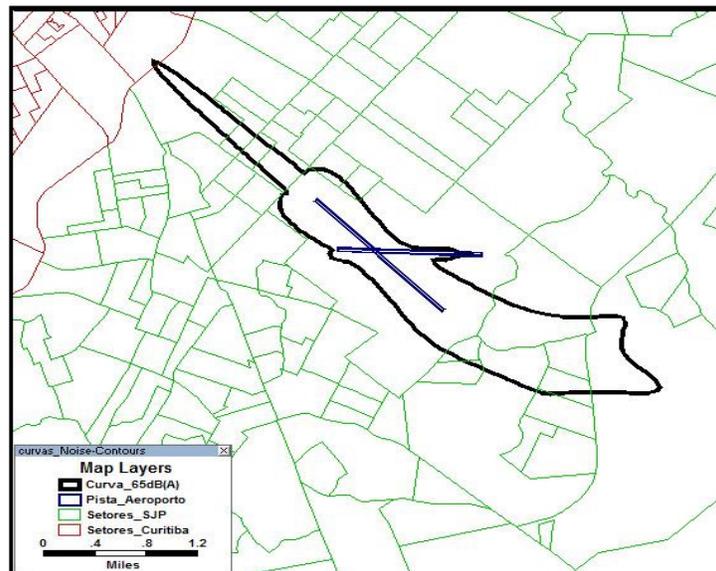


Figura 6.8 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Na tabela (6.6) aparecem os dados relativos do aeroporto de Curitiba e as pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) no município de São José dos Pinhais. Os dados em questão, conforme já foi citado, foram obtidos no site do Ministério das Cidades (2007) e do IBGE (2007). Eles fornecem dados, como: código de identificação da área, seu respectivo tamanho, densidade e população.

Tabela 6.6 - Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais.

SBCT – São José dos Pinhais				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	412550605000075	0,960	2,488	2,592
2	412550605000138	0,240	3,111	12,964
3	412550605000126	0,000	0,000	52,088
4	412550605000127	0,150	11,538	76,922
5	412550605000097	0,100	7,904	79,038
6	412550605000077	0,010	5,804	580,355
7	412550605000120	0,250	164,714	658,856
8	412550605000073	0,010	8,099	809,864
9	412550605000074	0,010	12,058	1205,754
10	412550605000052	0,060	78,382	1306,364
11	412550605000053	0,030	46,970	1565,660
12	412550605000051	0,030	141,149	4704,951
13	412550605000125	0,060	283,913	4731,885
14	412550605000124	0,100	484,900	4849,000
15	412550605000076	0,040	285,005	7125,132
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
2,04		1536,034		752,96

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (6.6) considera que o número de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) é de aproximadamente 1536 pessoas. É importante lembrar que a curva de ruído DNL 65dB(A), é um dos níveis de referência para estudos sobre o impacto de ruído de aeronaves no Brasil.

Os dados de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65dB(A) no município de Curitiba foram insignificantes.

Na tabela (6.7) percebe-se que embora o aeroporto de Congonhas indique um desbalanceamento menor que o caso de Recife, ele possui um impacto ambiental maior, devido à grande concentração antrópica ao redor do aeroporto.

Tabela 6.7 – Pessoas residentes / Desbalanceamento

Acrônimo	Desbalanceamento	Nº de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65 dB(A)
SBSP	1,80	17457
SBRF	5,88	9514
SBCT	3,81	1536
SBBH	1,00	59

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

CAPÍTULO 7

7.1 Análise de sensibilidade

A Análise de Sensibilidade para os aeroportos teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para implementação da Abordagem Equilibrada adequada aos países em desenvolvimento. Destacam-se neste estudo as aeronaves Capítulo 2 e 3, pois ainda estão em operação no país.

Neste trabalho, a Abordagem Equilibrada proposta pelo documento A33-7 da ICAO, é adotada no controle do ruído aeroportuário. Para os parâmetros aeroportuários de entrada foram relacionados os movimentos das aeronaves em análise, classificadas como Capítulo 2 ou 3. O sistema de saída fornece variações nas formas das curvas de ruído e no percentual de utilização das rotas, com base nos estudos de sensibilidade, a fim de reduzir o incômodo causado pelo ruído aeroportuário nas populações adjacentes ao aeroporto. A partir desses dados, a distribuição espacial da curva de ruído é analisada, levando-se em conta o uso, a ocupação do solo e a população exposta ao ruído aeroportuário.

As entradas incluem toda a diversidade de aeronaves do aeroporto. Para cada aeronave em operação foi calculado, com base no seu número de movimentos diários, o seu respectivo Coeficiente de Sensibilidade, possibilitando classificá-las quanto ao impacto que as mesmas causam no traçado da curva de ruído DNL 65dB(A).

Essa hierarquização permite identificar o peso de cada aeronave no ruído gerado por um aeroporto, sendo um recurso para a seleção de aeronaves, ou grupo de aeronaves, cujas variações no percentual de utilização das rotas atuais ou das novas rotas possam ser analisadas.

7.2 Estudos de sensibilidade

Os estudos de sensibilidade objetivam o aprofundamento sobre a problemática do ruído aeroportuário no entorno dos aeroportos. Os aeroportos escolhidos para esses estudos foram: Congonhas, Recife e Curitiba.

Estes aeroportos foram escolhidos dentre 15 aeroportos administrados pela INFRAERO (tabela 5.1), quanto ao impacto ambiental sonoro, dentre os mais representativos quanto ao ruído aeroportuário. O aeroporto de Pampulha não foi considerado neste estudo, devido este não ter vôos noturnos ou movimento de aeronaves Capítulo 2, impossibilitando a aplicação desta metodologia.

Para os cálculos de sensibilidade foi utilizada a variável x_{ij} , sendo i o número de movimentos de aeronaves e j o período que pode ser noturno ou diurno. A partir dessas variáveis é possível determinar a área de curva de ruído Φ para um determinado nível de DNL. A expressão abaixo mostra a área de uma possível curva de ruído para um DNL 65dB(A):

$$\Phi(x_{1D}, x_{1N}; x_{2D}, x_{2N}; x_{3D}, x_{3N}) \quad (7.1)$$

Para o estudo de sensibilidade são adicionados nos dados de movimentos de aeronaves da curva de ruído atual variações do tipo Δx_{ij} , conforme a equação (7.2).

$$\Phi(x_{1D} + \Delta x_{1D}, x_{1N} + \Delta x_{1N}; \dots) \quad (7.2)$$

Caso as variações Δx_{ij} sejam pequenas, pode-se escrever:

$$\Delta \Phi = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x_{1D}} \right) \Delta x_{1D} + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x_{1N}} \right) \Delta x_{1N} + \dots + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x_{ND}} \right) \Delta x_{ND} \quad (7.3)$$

onde $\Delta \Phi$ é a variação da área.

O próximo passo é encontrar o Coeficiente de Sensibilidade Relativa. Dividi-se o valor de $\Delta\Phi$ por Φ (inicialmente a área da curva de ruído) e encontra-se a variação relativa:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \left[\frac{x_{1D}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1D}} \right) \frac{\Delta x_{1D}}{x_{1D}} + \frac{x_{1N}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1N}} \right) \frac{\Delta x_{1N}}{x_{1N}} + \dots + \frac{x_{nD}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{nD}} \right) \frac{\Delta x_{nD}}{x_{nD}} \right] \quad (7.4)$$

onde $\Delta\Phi$ é a variação da área.

A partir da variação relativa obtém-se o Coeficiente de Sensibilidade Relativa:

$$\mathbf{S}_{x_{ij}}^{\Phi} = \left(\frac{x_{ij}}{\Phi} \right) \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{ij}} \right) \quad (7.5)$$

Substituindo na equação (7.4) temos:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \mathbf{S}_{x_{1D}}^{\Phi} \left(\frac{\Delta x_{1D}}{x_{1D}} \right) + \mathbf{S}_{x_{1N}}^{\Phi} \left(\frac{\Delta x_{1N}}{x_{1N}} \right) + \dots + \mathbf{S}_{x_{nN}}^{\Phi} \left(\frac{\Delta x_{nN}}{x_{nN}} \right) \quad (7.6)$$

que pode ser reescrita, considerando os Coeficientes de Sensibilidades constantes, como:

$$\mathbf{d}(\log\Phi) = \mathbf{S}_{x_{1D}}^{\Phi} [\log(x_{1D})] + \mathbf{S}_{x_{1N}}^{\Phi} [\log(x_{1N})] + \dots + \mathbf{S}_{x_{nN}}^{\Phi} [\log(x_{nN})] \quad (7.7)$$

$$\mathbf{d}(\log\Phi) = \sum_{i=1}^N e_{j=1,2} \mathbf{S}_{x_{ij}}^{\Phi} [\log(x_{ij})] \quad (7.8)$$

7.3 Análise de sensibilidade e coeficientes

Os Estudos de Sensibilidade foram elaborados em duas etapas: Parte 1 – Abordagem Clássica; e Parte 2 – Abordagem Linearizada.

A primeira etapa consiste no estudo de parâmetros aeroportuários relacionados com a operação das aeronaves Cap.2 (mais ruidosos) ou Cap.3 (menos ruidosos), sendo x_{iD} e x_{iN} o número de movimentos nos períodos diurno e noturno.

São estudadas várias situações operacionais distintas, agrupadas quanto à conservação e a modificação da frota. Para cada situação são elaboradas curvas de ruído para DNL 65dB(A), calculadas suas respectivas áreas e os percentuais de redução em relação à situação inicial. Depois de executar algumas análises de sensibilidade foi decidido introduzir Coeficientes de Sensibilidade nos estudos²⁹, que também são denominados coeficientes de elasticidade em áreas econômicas.

7.4 Aplicação para ruído aeroportuário

A segunda etapa dos estudos de sensibilidade tem como objetivo determinar os Coeficientes de Sensibilidade Relativa de Φ , inicialmente a área da curva de ruído, em relação aos parâmetros aeroportuários x_1 , x_2 , x_3 e x_4 – estes parâmetros estão relacionados ao número de movimentos de aeronaves Cap. 3 ou Cap.2 operando no turno diurno e noturno -. Esta etapa permite comparar as alterações da área da curva de ruído, especialmente em DNL 65dB(A), obtidas pelas variações destes parâmetros em um mesmo aeroporto.

Os Coeficientes de Sensibilidade são determinados projetando curvas de ruído no software INM, onde essas curvas se relacionam a estudos de caso baseados em variações dos parâmetros x_i , utilizando de aproximação de diferenciais finitas.

A equação (7.9) relaciona o logaritmo da área de curva de ruído ao logaritmo dos parâmetros aeroportuários, ela é utilizada para avaliar a importância de cada parâmetro na sensibilidade das curvas de ruído, considerando os Coeficientes de Sensibilidade constantes:

$$\begin{aligned} \text{Log}_e \Phi (x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) = & \mathbf{S}_{x_1}^{\Phi} \text{Log}_e \Phi (x_1) + \mathbf{S}_{x_2}^{\Phi} \text{Log}_e \Phi (x_2) + \mathbf{S}_{x_3}^{\Phi} \text{Log}_e \Phi (x_3) + \\ & \mathbf{S}_{x_4}^{\Phi} \text{Log}_e \Phi (x_4) + \mathbf{K} \end{aligned} \quad (7.9)$$

²⁹ Dorf - Sistemas de Controle Modernos

sendo que x_1 , x_2 , x_3 e x_4 referem-se aos parâmetros aeroportuários levados em consideração nos estudos, e x_5 a x_n são considerados constantes e correspondem às aeronaves cujos movimentos não foram modificados nesta dissertação.

7.5 Coeficientes de Sensibilidade Absoluta

Com os Coeficientes de Sensibilidade é possível classificar grupos de aeronaves e definir uma política para executar uma análise de sensibilidade de ruído clássica.

Muitas ações podem ser aplicadas, tais como: substituição de um modelo de aeronave por outra, a modificação do período de movimento da aeronave e a modificação de rota. É importante também considerar o número de aeronaves em cada grupo.

Em muitos casos, a identificação da aeronave mais problemática, no que se diz respeito à emissão sonora, é muito mais viável economicamente de se trabalhar do que um grupo inteiro de aeronaves.

Com base nesse argumento, o Coeficiente de Sensibilidade Absoluta surge como uma ferramenta mais específica que o Coeficiente de Sensibilidade Relativa, pois ela permite trabalhar com apenas um parâmetro, o número de movimentos de aeronaves, de cada aeronave específica.

Pela equação (7.10), é possível identificar o Coeficiente de Sensibilidade Absoluta com base no número de movimentos e suas variações.

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \frac{1}{x_{1D}} \mathbf{S}_{x_{1D}}^{\Phi} \Delta_{x_{1D}} + \frac{1}{x_{1N}} \mathbf{S}_{x_{1N}}^{\Phi} \Delta_{x_{1N}} + \dots + \frac{1}{x_{nN}} \mathbf{S}_{x_{nN}}^{\Phi} \Delta_{x_{nN}} \quad (7.10)$$

Em que o Coeficiente de Sensibilidade Absoluta é descrito como:

$$\mathbf{SA}_{x_{nN}}^{\Phi} = \frac{1}{x_{nN}} \mathbf{S}_{x_{nN}}^{\Phi} \quad (7.11)$$

sendo x_{nN} o número de movimentos da aeronave e $S_{x_{nN}}^\Phi$ o Coeficiente de Sensibilidade Relativa.

7.6 Coeficiente de Variação Relativa baseado no AEM.

Complementando essa análise, propõe-se ainda a determinação de outro coeficiente que representa a variação relativa de cada parâmetro, especificamente, para que se obtenha uma variação de 17% da área da curva DNL 65dB(A), que corresponde, de acordo com o AEM³⁰, a uma variação de 1,5dB(A) nos níveis de ruído dentro do contorno da curva.

$$\frac{\Delta x_i}{x_i} = \frac{1}{S_{x_i}^\Phi} \frac{\Delta \Phi}{\Phi} = \frac{0,17}{S_{x_i}^\Phi} = V_{\Phi}^{x_i} \quad (7.12)$$

Este critério é usado nos Estados Unidos para identificar a necessidade de realização de estudos de impacto ambiental devido à mudança das condições operacionais de determinado aeroporto, e geralmente é acessado como prévia para utilização do software INM, que envolve uma complexidade maior.

Nesta dissertação, foi adotado este critério como limite para avaliação da efetividade do uso dos coeficientes de sensibilidade tal como proposto, bem como para comparar o método AEM com a metodologia adotada.

7.7 Procedimentos operacionais para redução de ruído e restrições operacionais para aeronaves.

A proposição de rotas de traçado alternativo bem como de variações nas rotas foram estudados a partir da análise espacial, ou seja, a partir dos mapas e ilustrações elaboradas para este trabalho. As informações dos mapas foram cruzadas com as informações das tabelas de classificação das aeronaves quanto ao Coeficiente de Sensibilidade e com as tabelas relacionadas às rotas. As rotas existentes foram

³⁰ Area Equivalent Method

analisadas de acordo com sua projeção sobre os mapas com imagem IKONOS³¹, com as curvas de ruído e áreas edificadas, com a situação de uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto, e ainda sobre a situação da densidade demográfica e topografia.

Com a finalidade de oferecer alternativas exequíveis em curto prazo para atenuação do ruído aeroportuário, foram criadas possibilidades de variações nas rotas praticadas em cada aeroporto, tanto em relação à proposição de novos desenhos quanto à proposição de variações nos percentuais de utilização das rotas existentes.

Para esta etapa foram realizadas simulações com o software INM, a fim de analisar as variações nas formas das curvas de ruído, em relação às novas rotas propostas.

Além da distribuição espacial das rotas praticadas no aeroporto analisado, ou seja, da projeção horizontal das rotas sobre a situação de uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto, percebeu-se no decorrer desta dissertação a necessidade de compreensão do percentual de utilização de cada uma das rotas praticadas, e identificação das aeronaves associadas às mesmas.

São listadas as aeronaves que praticam cada uma das rotas, discriminando-se o número de movimentos diurnos, noturnos e totais. Neste sentido, foram estudadas variações nos percentuais de utilização das rotas existentes e alternativas de rotas diferenciadas.

Deve-se ressaltar que as variações nos percentuais de utilização das rotas já praticadas e a proposição de novas rotas alternativas para o aeroporto em estudo, têm como objetivo provocar mudanças na forma da curva de ruído DNL 65dB(A), para melhor adequação da sua distribuição espacial ao uso e à ocupação do solo no entorno do aeroporto.

Para auxiliar esta etapa foi utilizada a ferramenta computacional SIGMA - Sistema de Informações Geográficas de Meio Ambiente – ele é um programa que

³¹ O satélite IKONOS II foi lançado no dia 24 de Setembro de 1999, e está operacional desde o início de janeiro de 2000

permite a visualização de imagens de satélite georreferenciadas, que permitem a localização de pontos específicos, digitando-se suas coordenadas geográficas e a gestão de dados ambientais. O SIGMA foi desenvolvido pela Infraero em parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ).

Com o SIGMA é possível pesquisar e cruzar informações sobre a maior parte dos aeroportos e de suas vizinhanças, informações estas que são armazenadas em seu banco de dados. São dados fundamentais para avaliações ambientais. Com ele é possível localizar as instalações dos aeroportos, curvas de nível, rios, favelas, lixões, bairros, dados ambientais dos aeroportos entre outros temas de interesse.

CAPÍTULO 8 - ESTUDO DE CASO

Para este estudo foram escolhidos os aeroportos de Congonhas, Recife e Curitiba. O aeroporto de Pampulha foi preterido por ter uma capacidade de redução de ruído insignificante, segundo a tabela (5.5), igual a zero.

A primeira etapa consiste em fazer um estudo comparativo dos aeroportos de Congonhas e Recife, através dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa. Estes aeroportos foram escolhidos para esta análise comparativa, com base nos resultados obtidos pelos índices de desbalanceamento sonoros calculados e demonstrados pela tabela (5.5), em que o aeroporto de Congonhas foi considerado o mais balanceado e o de Recife o menos balanceado dentre os aeroportos estudados.

A segunda etapa consistirá de vários estudos, tais como: aplicação dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa, proposição de rotas alternativas, utilização do LAeqD e LAeqN como métricas alternativas ao DNL e a aplicação dos Coeficientes de Sensibilidade Absoluta. O aeroporto escolhido para este estudo foi o de Curitiba, este aeroporto se apresentou como um meio termo entre os dois outros aeroportos citados.

1ª ETAPA

8.1 Congonhas

8.1.1 Parte 1: Abordagem Clássica.

Três situações alternativas foram criadas em relação à situação inicial $i(0)$, para o aeroporto de Congonhas, tendo em consideração dois critérios: renovação da frota de aeronaves e adoção de restrições operacionais.

- A renovação de frota se refere à substituição das aeronaves Cap.2 (mais ruidosas) por outros modelos com capacidade e cargas similares, porém com melhor desempenho acústico. Por este motivo, nas simulações acústicas, as

aeronaves (Cap.2) foram substituídas pelo modelo de aeronave 737-500, classificadas como Capítulo 3, segundo o anexo 16 da ICAO.

- Já as restrições operacionais se referem à proibição, parcial ou total, do acesso de aeronaves no aeroporto em determinados períodos do dia, particularmente em horários noturnos. Neste caso, trabalhou-se com transferências do número de movimentos das aeronaves, do horário noturno para diurno, sem alterar a composição da frota existente. A composição da frota do aeroporto de Congonhas pode ser vista no apêndice 02.

A situação i(3) corresponde a uma situação ideal de configuração dos parâmetros, com todos os movimentos diurnos e todas as aeronaves em operação da categoria Capítulo 3. Apesar de operacionalmente ser praticamente inviável, o estudo desta situação oferece uma perspectiva do limite de otimização dos parâmetros estudados quanto ao controle do ruído aeroportuário.

Para cada situação estudada elaborou-se a curva de ruído correspondente ao DNL 65dB(A), e as áreas correspondentes calculadas foram assinaladas nas suas respectivas colunas na tabela (8.1).

Neste estudo, as situações assinaladas em verde são aquelas que operacionalmente são mais viáveis para o aeroporto de Congonhas no que diz respeito à redução das áreas das curvas de ruído.

As colunas em amarelo destacam as áreas e seus percentuais de redução elaboradas para um DNL 65dB(A).

Tabela 8.1 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. (i(0),i(1),i(2),i(3)) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.

Mix de Aeronaves	SBSP Situação Estudada i(n)	Movimentos (P) por turnos				Área da curva de Ruído (DNL) 65dB	Redução da Área (%) em relação ao caso inicial 65dB
		Cap.3		Cap.2			
		Diurno	Noturno	Diurno	Noturno		
Frota Existente	(0) Situação Atual	401,85	32,98	9,50	0,03	2,67Mi2	0%
Conserva Frota	(1) Transferência de 100% de Cap.2 Noturno para Diurno	401,85	32,98	9,53	0,00	2,63Mi2	1,50%
	(2) Transf. De 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno.	434,83	0,00	9,53	0,00	2,11Mi2	20,97%
Muda Frota 737-500	(3) Transf. de 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno e Subst. de 100% Cap.2 por Cap.3.	444,36	0,00	0,00	0,00	1,03Mi2	61,42%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Na situação i(1), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 para movimentos diurnos. Na situação i(2), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 e 3 para movimentos diurnos respectivamente. A tabela (8.2), de acordo com a tabela (8.1), mostra uma diminuição significativa da área da curva DNL 65dB(A), com a retirada dos vôos noturnos.

Tabela 8.2 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi2)			Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a i(0)	
	i(0)	i(1)	i(2)	i(1)	i(2)
65dB(A)	2,67	2,63	2,11	1,50%	20,97%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (8.3), de acordo com a tabela (8.1), mostra uma situação em que se estudou a transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 e 3 para o turno diurno, e a substituição total de aeronaves Cap. 2 por aeronaves Cap. 3. Essa

situação é ideal, porém, é, operacionalmente, difícil de realizar. Nesta dissertação o parâmetro $i(3)$ foi utilizado para comparação com outras situações, tendo sido estabelecido como a alternativa mais próxima da ideal.

Tabela 8.3 - Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi ²)		Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a $i(0)$
	$i(0)$	$i(3)$	
65dB(A)	2,67	1,03	61,42%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A figura (8.1) mostra o comportamento das novas áreas de contorno de ruído para as simulações: $i(0)$, $i(1)$, $i(2)$ e $i(3)$.

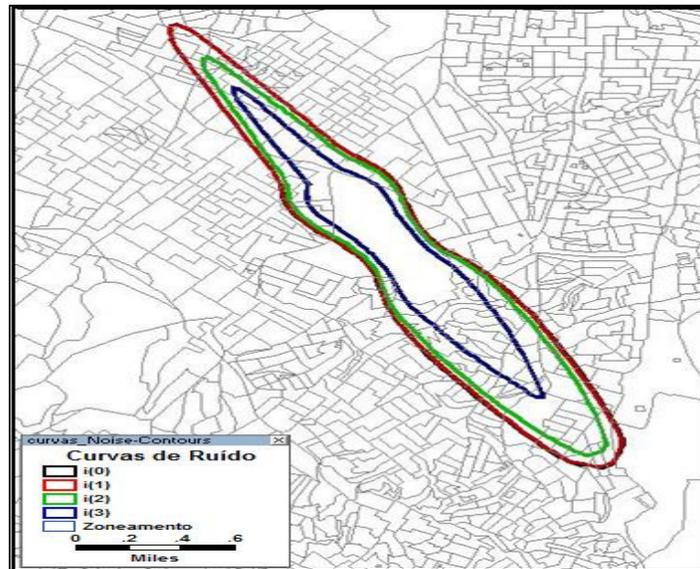


Figura 8.1 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65 dB(A).

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.1.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1, x_2, x_3 e x_4 .

Conforme visto na equação (7.5), $S_{x_1}^\Phi$ é chamado de Coeficiente de Sensibilidade Relativa de Φ com relação à x_1 , e é definido por:

$$S_{x_1}^\Phi = \frac{x_1}{\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4)} \frac{\partial \Phi}{\partial x_1}$$

e assim por diante,

$$S_{x_2}^\Phi = \frac{x_2}{\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4)} \frac{\partial \Phi}{\partial x_2}$$

$$S_{x_3}^\Phi = \frac{x_3}{\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4)} \frac{\partial \Phi}{\partial x_3}$$

$$S_{x_4}^\Phi = \frac{x_4}{\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4)} \frac{\partial \Phi}{\partial x_4}$$

Determinam-se os valores dos Coeficientes de Sensibilidade a partir da elaboração de curvas de ruído no INM sobre a variação individual de cada parâmetro com outros parâmetros fixos.

Elaboram-se as curvas INM e determinam-se os valores de Φ para x_1, x_2, x_3 e x_4 na situação inicial e em seguida para suas variações $x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, x_3 + \Delta x_3$ e $x_4 + \Delta x_4$.

Com uma variação relativa de 10% do parâmetro x_i , obtém-se:

$$S_{x_{ij}}^\Phi \approx -10 \frac{\Delta \Phi}{\Phi} \quad (8.1)$$

onde $\frac{\Delta \Phi}{\Phi}$ representa a variação relativa da área.

Os Coeficientes de Sensibilidade de Φ em relação aos parâmetros aeroportuários, de acordo com a tabela (8.4), são expressos por:

$$S_{x_1}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,225 \quad (x_1, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_2}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_2 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,187 \quad (x_2, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_3}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_3 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,299 \quad (x_3, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2});$$

$$S_{x_4}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_4 - \Phi_0}{\Phi_0} \approx 0 \quad (x_4, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 2}).$$

A equação aproximada pode ser escrita relacionando o logaritmo da área da curva de ruído ao logaritmo dos parâmetros, considerando que o Coeficiente de Sensibilidade é constante, como visto na equação (7.9).

$$\begin{aligned} \text{Log}_e \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4) &= S_{x_1}^{\Phi} \text{Log}_e x_1 + S_{x_2}^{\Phi} \text{Log}_e x_2 + S_{x_3}^{\Phi} \text{Log}_e x_3 + S_{x_4}^{\Phi} \text{Log}_e x_4 + \text{Log}_e (K) \\ \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4) &= K x_1^{S_{x_1}^{\Phi}} x_2^{S_{x_2}^{\Phi}} x_3^{S_{x_3}^{\Phi}} x_4^{S_{x_4}^{\Phi}} \end{aligned} \quad (8.2)$$

No caso de Congonhas:

$$\text{Log}_e \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,225 \text{Log}_e \Phi x_1 + 0,187 \text{Log}_e \Phi x_2 + 0,299 \text{Log}_e \Phi x_3 + 0 \text{Log}_e \Phi x_4$$

Assim, na situação atual, o parâmetro que corresponde ao número de movimentos diurnos de aeronaves Capítulo 2 tem a maior influência sobre a área de curva de ruído.

8.1.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi/\Phi = 0,17$.

Como visto no tópico 7.6 desta dissertação, de acordo com o método AEM, uma variação relativa de 17% da área de uma curva de ruído equivale a uma variação relativa de 1,5dB(A) no nível de ruído na região de abrangência da curva DNL 65dB(A).

O valor da variação relativa de cada parâmetro aeroportuário, tomado individualmente, que corresponde a uma variação em 17% na área da curva DNL 65dB(A), de acordo com a expressão definida na equação 7.12, para coeficientes de variação de x_i em relação a Φ é:

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_1} = 0,756$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_2} = 0,909$$

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2;

$$V_{\Phi}^{x_3} = 0,569$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 2.

$$V_{\Phi}^{x_4} = \infty$$

Este resultado mostra que movimentos diurnos de aeronaves Capítulo 2, têm um maior impacto acústico no aeroporto de Congonhas. Menor o coeficiente, mais fácil de mudar.

8.1.4 Análise dos resultados – SBSP

Sendo adotada inicialmente uma variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários específicos, verificou-se que a sensibilidade da área com relação ao parâmetro x_4 é insignificante comparada com os parâmetros x_1 , x_2 , e x_3 (tabela 8.4).

Tabela 8.4 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBSP.

Parâmetros	Movimentos (x) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	401,85	32,98	9,50	0,03	2,67Mi2	0,00%
Retirada 10% x_1	361,67	32,98	9,50	0,03	2,61Mi2	2,25%
Retirada 10% x_2	401,85	29,68	9,50	0,03	2,62Mi2	1,87%
Retirada 10% x_3	401,85	32,98	8,55	0,03	2,59Mi2	2,99%
Retirada 10% x_4	401,85	32,98	9,50	0,027	2,67Mi2	0,00%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Esses resultados mostram que as porcentagens das variações das áreas das curvas DNL 65dB(A) para as situações propostas na tabela (8.4) são inconclusivas, especialmente variando-se x_1 , x_2 e x_3 . A partir de uma variação de 50%, o parâmetro x_3 mostra uma variação significativa na área da curva DNL 65dB(A) (tabela 8.5).

Tabela 8.5 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBSP.

Parâmetros	Movimentos (x) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	401,85	32,98	9,50	0,03	2,67Mi2	0,00%
Retirada 50% x_1	200,93	32,98	9,50	0,03	2,35Mi2	11,98%
Retirada 50% x_2	401,85	16,49	9,50	0,03	2,40Mi2	10,11%
Retirada 50% x_3	401,85	32,98	4,75	0,03	2,25Mi2	15,73%
Retirada 50% x_4	401,85	32,98	9,50	0,015	2,65Mi2	0,75%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Isto indica que a percentagem elevada de movimentos de aeronaves Cap. 2 no período diurno (x_3) domina o cenário acústico no aeroporto de Congonhas, resultando numa sensibilidade mais significativa das suas curvas de ruído em relação aos parâmetros relativos aos movimentos de aeronaves Cap. 3 diurno ou noturno (x_1 e x_2) e Cap. 2 noturno (x_4). Para uma melhor visualização do resultado obtido, a figura (8.2) mostra uma imagem de satélite entre $x(0)$, a situação inicial, e $x(3)$.



Figura 8.2 - Gráfico comparativo entre $x(0)$ e $x(3)$.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.2 Recife

8.2.1 Parte 1: Abordagem Clássica.

De forma análoga ao que observou no aeroporto de Congonhas, para o aeroporto de Recife foram encontrados os seguintes resultados para a Abordagem Clássica (tabela 8.6).

Tabela 8.6 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. (i(0),i(1),i(2),i(3)) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.

Mix de Aeronaves	SBRF Situação Estudada i(n)	Movimentos (P) por turnos				Área da curva de Ruído (DNL)	Redução da Área (%) em relação ao caso inicial
		Cap.3		Cap.2			
		Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB	65dB
Frota Existente	(0) Situação Atual	69	33	8	3	2,55Mi2	0%
Conserva Frota	(1) Transferência de 100% de Cap.2 Noturno para Diurno	69	33	11	0	1,72Mi2	32,55%
	(2) Transf. De 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno.	102	0	11	0	1,08Mi2	57,65%
Muda Frota 737500	(3) Transf. de 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno e Subst. de 100% Cap.2 por Cap.3.	113	0	0	0	0,30Mi2	88,24%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Na situação i(1), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 para movimentos diurnos. Na situação i(2), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 e 3 para movimentos diurnos respectivamente. A tabela (8.7), de acordo com a tabela (8.6), mostra uma diminuição significativa da área da curva DNL 65dB(A), com a retirada dos vôos noturnos.

Tabela 8.7 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi2)			Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a i(0)	
	i(0)	i(1)	i(2)	i(1)	i(2)
65dB(A)	2,55	1,72	1,08	32,55%	57,65%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (8.8), de acordo com a tabela (8.6), apresenta uma situação em que se estudou a transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Cap. 2 e Cap. 3 para o turno diurno, e a substituição total de aeronaves Cap. 2 por aeronaves Cap. 3. Esta situação é ideal, porém, é, operacionalmente, difícil de realizar. Nesta dissertação o parâmetro $i(3)$ foi utilizado para comparação com outras situações, tendo sido estabelecido como a alternativa mais próxima da ideal.

Tabela 8.8 - Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi ²)		Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a $i(0)$
	$i(0)$	$i(3)$	$i(3)$
65dB(A)	2,55	0,30	88,24%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A figura 8.3, mostra o comportamento das novas áreas de contorno de ruído para as simulações: $i(0)$, $i(1)$, $i(2)$ e $i(3)$.

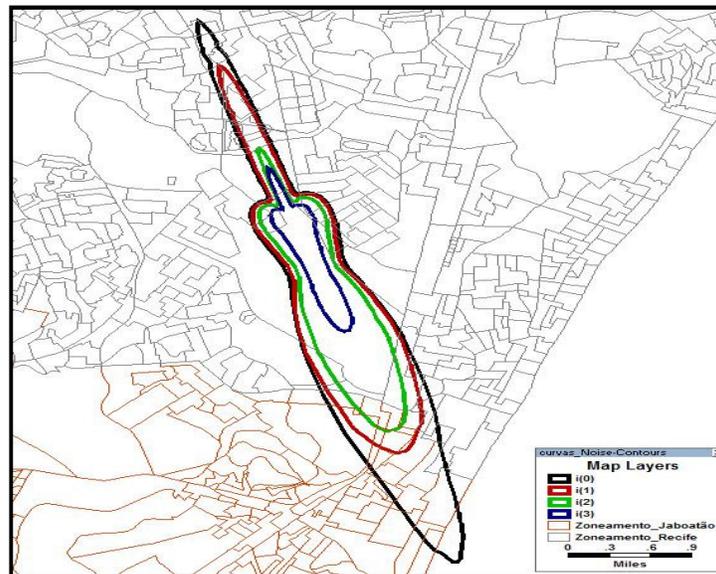


Figura 8.3 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65 dB(A).

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.2.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1, x_2, x_3 e x_4 .

Analogamente ao caso do aeroporto de Congonhas, procurou-se determinar os valores dos Coeficientes de Sensibilidade a partir da elaboração de curvas de ruído no INM sobre a variação individual de cada parâmetro, com os outros parâmetros fixos.

Os Coeficientes de Sensibilidade de Φ em relação aos parâmetros aeroportuários, de acordo com a tabela (8.9), são expressos por:

$$S_{x_1}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,0392 \quad (x_1, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_2}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_2 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,275 \quad (x_2, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_3}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_3 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,157 \quad (x_3, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2});$$

$$S_{x_4}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_4 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,353 \quad (x_4, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 2}).$$

Pode-se escrever a seguinte equação aproximada relacionando o logaritmo da área de curva de ruído ao logaritmo dos parâmetros.

No caso de Recife:

$$\text{Log}_e \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,039 \text{Log}_e \Phi x_1 + 0,275 \text{Log}_e \Phi x_2 + 0,157 \text{Log}_e \Phi x_3 + 0,35 \text{Log}_e \Phi x_4$$

Assim, na situação atual, o parâmetro que corresponde ao número de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 tem a maior influência sobre a área de curva de ruído.

8.2.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi/\Phi = 0,17$.

Analogamente ao caso de Congonhas, para determinar qual a variação relativa de cada parâmetro aeroportuário, tomado individualmente, que corresponde a uma variação em 17% na área da curva DNL 65dB(A), com base na expressão definida na equação (7.12), para coeficientes de variação de x_i em relação a Φ é:

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_1} = 4,337$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_2} = 0,618$$

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2;

$$V_{\Phi}^{x_3} = 1,083$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 2.

$$V_{\Phi}^{x_4} = 0,409$$

Este resultado mostra que é muito mais fácil conseguir uma variação de área modificando o número de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2.

8.2.4 Análise dos resultados – SBRF

Sendo adotada inicialmente uma variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários específicos, verificou-se que a sensibilidade da área com relação ao parâmetro x_1 é menos significativa comparada com os parâmetros x_2 , x_3 , e x_4 (tabela 8.9).

Tabela 8.9 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF.

Parâmetros	Movimentos (x) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	69	33	8	3	2,55Mi2	0,00%
Retirada 10% x ₁	62,1	33	8	3	2,54Mi2	0,39%
Retirada 10% x ₂	69	29,7	8	3	2,48Mi2	2,75%
Retirada 10% x ₃	69	33	7,2	3	2,51Mi2	1,57%
Retirada 10% x ₄	69	33	8	2,7	2,46Mi2	3,53%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Esses resultados mostram que as percentagens das variações das áreas das curvas DNL 65dB(A) para as situações propostas na tabela (8.9) são inconclusivas, especialmente variando-se x₂, x₃ e x₄. A partir de uma variação de 50% o parâmetro x₄ mostra uma alteração significativa na área da curva DNL 65dB(A) em relação à x₂ e x₃, (tabela 8.10).

Tabela 8.10 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF.

Parâmetros	Movimentos (P) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	69	33	8	3	2,55Mi2	0,00%
Retirada 50% x ₁	34,5	33	8	3	2,49Mi2	2,35%
Retirada 50% x ₂	69	16,5	8	3	2,21Mi2	13,33%
Retirada 50% x ₃	69	33	4	3	2,34Mi2	8,24%
Retirada 50% x ₄	69	33	8	1,5	2,06Mi2	19,22%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Isto indica que a percentagem elevada de movimentos de aeronaves Cap. 2 no período noturno (x_4) domina o cenário acústico no aeroporto de Recife, resultando numa sensibilidade mais significativa das suas curvas de ruído em relação aos parâmetros relativos aos movimentos de aeronaves Cap. 3 diurno e noturno (x_1 e x_2) e Cap. 2 diurno (x_3). Para uma melhor visualização do resultado obtido, a figura (8.4) mostra uma imagem de satélite entre x_1 , a situação menos significativa, e x_4 .



Figura 8.4 - Gráfico comparativo entre $x(1)$ e $x(4)$.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

2ª ETAPA

8.3 Curitiba

8.3.1 Parte 1: Abordagem Clássica.

De forma análoga ao que se observou nos aeroportos de Congonhas e Recife, para o aeroporto de Curitiba foram encontrados os seguintes resultados para a Abordagem Clássica (tabela 8.11).

Tabela 8.11 - Estudo da variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários. (i(0),i(1),i(2),i(3)) considerando-se as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.

Mix de Aeronaves	SBCT Situação Estudada i(n)	Movimentos (P) por turnos				Área da curva de Ruído (DNL) 65dB	Redução da Área (%) em relação ao caso inicial 65dB
		Cap.3		Cap.2			
		Diurno	Noturno	Diurno	Noturno		
Frota Existente	(0) Situação Atual	125,51	27,66	0,15	2,74	2,04Mi2	0%
Conserva Frota	(1) Transferência de 100% de Cap.2 Noturno para Diurno	125,51	27,66	2,89	0	1,21Mi2	40,68%
	(2) Transf. De 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno.	153,17	0	2,89	0	0,59Mi2	71,01%
Muda Frota 737500	(3) Transf. de 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno e Subst. de 100% Cap.2 por Cap.3.	156,06	0	0	0	0,48Mi2	76,47%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Na situação i(1), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 para movimentos diurnos. Na situação i(2), trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 e 3 para movimentos diurnos respectivamente. A tabela (8.12), de acordo com a tabela (8.11), mostra uma diminuição significativa da área da curva DNL 65dB(A), com a retirada dos vôos noturnos.

Tabela 8.12 - Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 noturnos para diurnos. Transferência dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi2)			Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a i(0)	
	i(0)	i(1)	i(2)	i(1)	i(2)
65dB(A)	2,04	1,21	0,59	40,68%	71,01%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A tabela (8.13), de acordo com a tabela (8.11), mostra uma situação em que se estudou a transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Cap. 2 e Cap. 3 para o turno diurno, e a substituição total de aeronaves Cap. 2 por aeronaves Cap. 3. Essa situação é ideal, porém, é, operacionalmente, difícil de realizar. Nesta dissertação o parâmetro $i(3)$ foi utilizado para comparação com outras situações, tendo sido estabelecido como a alternativa mais próxima da ideal.

Tabela 8.13 - Transferência de 100% dos movimentos de aeronaves Cap.2 e Cap.3 noturnos para diurnos. Substituição de 100% de aeronaves Cap.2 por Cap.3.

Nível de Ruído	Áreas das curvas de ruído (Mi ²)		Percentual de redução das áreas das curvas de ruído em relação a $i(0)$
	$i(0)$	$i(3)$	$i(3)$
65dB(A)	2,04	0,48	76,47%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

A figura (8.5) mostra o comportamento das novas áreas de contorno de ruído para as simulações: $i(0)$, $i(1)$, $i(2)$ e $i(3)$.

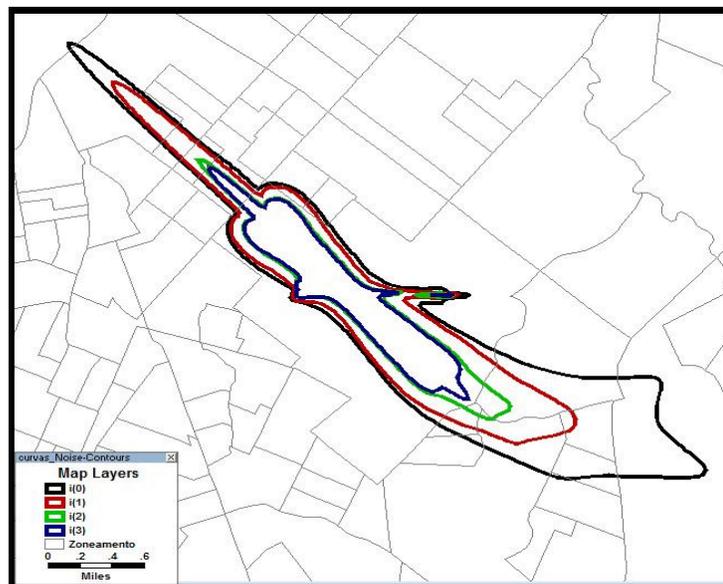


Figura 8.5 - Área de Contorno de Ruído para DNL 65 dB(A).

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.3.2 Parte 2: Abordagem Linearizada. Determinação dos Coeficientes de Sensibilidade Relativa de Φ em relação aos parâmetros x_1, x_2, x_3 e x_4 .

Analogamente ao caso do aeroporto de Congonhas e Recife procurou-se determinar os valores dos Coeficientes de Sensibilidade a partir da elaboração de curvas de ruído no INM sobre a variação individual de cada parâmetro, com os outros parâmetros fixos.

Os Coeficientes de Sensibilidade de Φ em relação aos parâmetros aeroportuários, de acordo com a tabela (8.14), são expressos por:

$$S_{x_1}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,098 \quad (x_1, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_2}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_2 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,294 \quad (x_2, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_3}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_3 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0 \quad (x_3, \text{movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2});$$

$$S_{x_4}^{\Phi} = -10 \frac{\Phi_4 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,441 \quad (x_4, \text{movimentos noturnos de aeronaves capítulo 2}).$$

Pode-se escrever a seguinte equação aproximada relacionando o logaritmo da área de curva de ruído ao logaritmo dos parâmetros

No caso de Curitiba:

$$\text{Log}_e \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4) = 0,098 \text{Log}_e \Phi_{x_1} + 0,294 \text{Log}_e \Phi_{x_2} + 0,0 \text{Log}_e \Phi_{x_3} + 0,441 \text{Log}_e \Phi_{x_4}$$

Assim, na situação atual, o parâmetro que corresponde ao número de movimentos noturnos de aeronaves Cap.2 tem a maior influência sobre a área de curva de ruído.

8.3.3 Determinação dos coeficientes de variação relativa dos parâmetros x_1 , x_2 , x_3 e x_4 para $\Delta\Phi/\Phi = 0,17$.

Analogamente ao caso de Congonhas e Recife, o valor da variação relativa de cada parâmetro aeroportuário, tomado individualmente, que corresponde a uma variação em 17% na área da curva DNL 65dB(A), de acordo com a expressão definida na equação (7.12), para coeficientes de variação de x_i em relação a Φ é:

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_1} = 1,735$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 3;

$$V_{\Phi}^{x_2} = 0,578$$

Movimentos diurnos de aeronaves capítulo 2;

$$V_{\Phi}^{x_3} = \infty$$

Movimentos Noturnos de aeronaves capítulo 2.

$$V_{\Phi}^{x_4} = 0,413$$

Este resultado mostra que é muito mais fácil conseguir uma variação de área modificando o número de movimentos noturnos de aeronaves capítulo 2.

8.3.4 Análise dos resultados – SBCT

Sendo adotada inicialmente uma variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente, verificou-se que a sensibilidade da área com relação ao parâmetro x_1 e x_3 é menos significativa comparada com os parâmetros x_2 e x_4 (tabela 8.14).

Tabela 8.14 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBCT.

Parâmetros	Movimentos (x) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	125,51	27,66	0,15	2,74	2,04Mi2	0,00%
Retirada 10% x_1	112,95	27,66	0,15	2,74	2,02Mi2	0,98%
Retirada 10% x_2	125,51	24,90	0,15	2,74	1,98Mi2	2,94%
Retirada 10% x_3	125,51	27,66	0,135	2,74	2,04Mi2	0,00%
Retirada 10% x_4	125,51	27,66	0,15	2,47	1,95Mi2	4,41%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Esses resultados mostram que as percentagens das variações das áreas das curvas DNL 65dB(A) para as situações propostas na tabela (8.14) são inconclusivas, especialmente variando-se x_2 e x_4 . A partir de uma variação de 50% o parâmetro x_4 mostrou uma variação significativa na área da curva DNL 65dB(A) (tabela 8.15).

Tabela 8.15 – Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBCT.

Parâmetros	Movimentos (x) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Mi2/DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65dB(A)	
Situação Inicial	125,51	27,66	0,15	2,74	2,04Mi2	0,00%
Retirada 50% x_1	62,76	27,66	0,15	2,74	1,92Mi2	5,88%
Retirada 50% x_2	125,51	13,83	0,15	2,74	1,74Mi2	14,71%
Retirada 50% x_3	125,51	27,66	0,075	2,74	2,04Mi2	0,00%
Retirada 50% x_4	125,51	27,66	0,15	1,37	1,59Mi2	22,06%

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009)

Isto indica que a percentagem elevada de movimentos de aeronaves Cap.2 no período noturno (x_4) domina o cenário acústico no aeroporto de Curitiba, resultando numa sensibilidade mais significativa das suas curvas de ruído em relação aos parâmetros relativos aos movimentos de aeronaves Cap.3 diurno e noturno (x_1 e x_2), e Cap. 2 diurno (x_3). Para uma melhor visualização do resultado obtido, a figura (8.6) mostra todos os cenários propostos pela tabela (8.15).



Figura 8.6 - Gráfico comparativo entre todos os cenários propostos.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.3.5 Aplicação dos Coeficientes de Sensibilidade Absoluta

De acordo com a análise de sensibilidade do aeroporto de Curitiba, o parâmetro que corresponde ao número de movimentos noturnos de aeronaves Cap.2 tem a maior influência sobre a área de curva de ruído.

Neste aeroporto em particular duas aeronaves Cap.2 estão em operação: o 727200 e o 737D17, conforme pode ser visto no apêndice 04. Para um estudo mais minucioso das operações deste grupo de aeronaves, será identificada aquela aeronave que mais influencia na área da curva de ruído. Por razões econômicas é mais viável trabalhar com uma aeronave que com um grupo de aeronaves.

- Aeronave 727200 $SA_{x_4}^{\phi} = \frac{1}{2,71}(0,4412) = 0,163$
- Aeronave 737D17 $SA_{x_4}^{\phi} = \frac{1}{0,03}(0,4412) = 14,706$

Pode-se concluir de acordo com os resultados obtidos que a aeronave 727200 apresenta uma influência maior na área da curva de ruído do aeroporto de Curitiba, do que a aeronave 737D17. Estes dados são corroborados pela relação das áreas de curva de ruído estudadas apresentadas na figura (8.7).

8.3.6 Proposição de Mudanças de Rotas para o Aeroporto de Curitiba.

Nas seções anteriores foram feitas variações nas rotas sem modificá-las. Nesta seção procurou modificar a rota atual por uma rota alternativa com a finalidade de modificar a curva de ruído DNL 65dB(A) e diminuir o número de pessoas residentes dentro desta curva.

Curitiba, o aeroporto escolhido, caracteriza-se por ter 2 pistas, uma pista principal 15–33 e uma pista auxiliar 11–29, sendo que esta foi quase que totalmente desativada, utilizada eventualmente por aeronaves pequenas. Ver anexo (04) para mais detalhes sobre as pistas.

A proposta sugerida foi de transferir para uma rota alternativa, neste caso para pista auxiliar 11-29, os vôos mais ruidosos do aeroporto de Curitiba.

Como visto na seção 8.3.2, as aeronaves capítulo 2 com vôos noturnos têm uma maior influência na curva de ruído do aeroporto de Curitiba. Então foram escolhidos para este estudo, de acordo com a seção 8.3.5, os vôos da aeronave capítulo 2 - 727200.

O aeroporto de Curitiba tem como rotas definidas para a pista principal 15–33, baseada no banco de dados da Infraero, as seguintes rotas evidenciadas na tabela (8.17).

Tabela 8.17 - Rotas da pista principal 15 - 33.

LOCALIDADE: SBCT - Afonso Pena - Curitiba											
Case 1											
CABECEIRA: 15						CABECEIRA: 33					
DEP 01	Destino / Rota	Segmentos	Tipo	Distância (nmi)	Distância (km)	DEP 02	Destino / Rota	Segmentos	Tipos	Distância (nmi)	Distância (km)
ALARI	RJ, SP	1	reta	1,1960043	2,215	ALARI	RJ, SP	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	25,00	25,00			2	Curva à DIR	205,00	205,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 03	Londrina, Cascavel, Foz do Iguaçu, Maringá	1	reta	1,1960043	2,215	DEP 04	Londrina, Cascavel, Foz do Iguaçu, Maringá	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	145,00	145,00			2	Curva à DIR	325,00	325,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 05	Brasília	1	reta	1,1960043	2,215	DEP 06	Brasília	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	128,00	128,00			2	Curva à DIR	308,00	308,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 07	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	1,1960043	2,215	DEP 8	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	05,00	05,00			2	Curva à DIR	185,00	185,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 09	Porto Alegre, Florianópolis, Cascavel, Maringá, Guarapua, Foz do Iguaçu, Videira	1	reta	1,1960043	2,215	DEP 10	Porto Alegre, Florianópolis, Cascavel, Maringá, Guarapua, Foz do Iguaçu, Videira	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	101,00	101,00			2	Curva à DIR	79,00	79,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 11	Florianópolis, Porto Alegre, Videira	1	reta	1,1960043	2,215	DEP 12	Florianópolis, Porto Alegre, Videira	1	reta	1,196004	2,215
		2	Curva à ESQ	50,00	50,00			2	Curva à DIR	130,00	130,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
APP 01	Todos	1	reta	5,399568	10	APP 02	Todos	1	reta	5,399568	10

Fonte: Infraero / GERA (2005).

O aeroporto de Curitiba tem como rotas definidas para a pista auxiliar 11–29, baseada no banco de dados da Infraero, as seguintes rotas evidenciadas na tabela (8.18).

Tabela 8.18 - Rotas da pista auxiliar 11-29.

LOCALIDADE: SBCT - Afonso Pena - Curitiba											
Case 1											
CABECEIRA: 11						CABECEIRA: 29					
DEP	Destino / Rota	Segmentos	Tipo	Distância (nmi)	Distância (km)	DEP	Destino / Rota	Segmentos	Tipos	Distância (nmi)	Distância (km)
DEP 01	RJ, SP	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 02	RJ, SP	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à DIR	15,00	15,00			2	Curva à ESQ	115,00	115,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 05	Londrina, Foz do Iguaçu, Maringá, Cascavel	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 06	Londrina, Foz do Iguaçu, Maringá, Cascavel	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à ESQ	105,00	105,00			2	Curva à DIR	285,00	285,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 05	Brasília	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 06	Brasília	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à ESQ	88,00	88,00			2	Curva à DIR	268,00	268,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 07	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 8	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à DIR	35,00	35,00			2	Curva à ESQ	145,00	145,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
DEP 09	Porto Alegre, Florianópolis, Cascavel, Maringá, Foz do Iguaçu, Guarapua, Videira	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 10	Porto Alegre, Florianópolis, Cascavel, Maringá, Foz do Iguaçu, Guarapua	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à DIR	35,00	141,00			2	Curva à ESQ	39,00	39,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
		5		0				5		0	
DEP 11	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	0,9719222	1,8	DEP 12	Porto Alegre, Florianópolis, Videira	1	reta	0,971922	1,8
		2	Curva à DIR	90,00	90,00			2	Curva à ESQ	90,00	90,00
		3	reta	5,399568	10			3	reta	5,399568	10
		4		0				4		0	
APP 01	Todos	1	reta	5,399568	10	APP 02	Todos	1	reta	5,399568	10

Fonte: Infraero / GERA (2005).

Com a nova curva de ruído DNL 65dB(A), é possível identificar o número de pessoas residentes dentro desta curva e comparar com o resultado da curva anterior. Como visto no capítulo 6 dessa dissertação, serão utilizados para esta etapa os dados de regiões censitárias fornecidas pelo IBGE e pelo ministério das cidades.

A tabela (8.20) fornece os novos dados relativos do aeroporto de Curitiba e as pessoas residentes dentro da nova curva no município de São José dos Pinhais; desta vez não houve nenhum dado referente ao município de Curitiba, como pode se observar na figura (8.9).

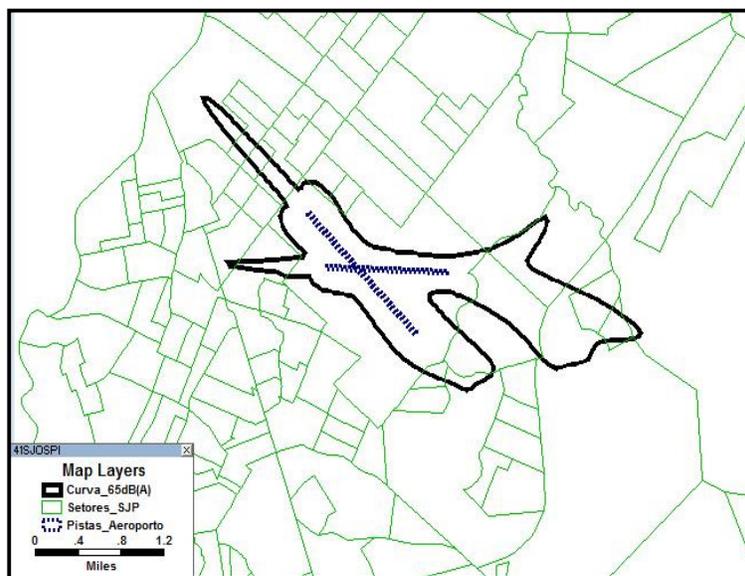


Figura 8.9 - Nova área de Contorno de Ruído para DNL 65dB(A) e a pista do aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Tabela 8.20 - Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais.

SBCT – São José dos Pinhais				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	412550606000016	0,01	0,00	0,12
2	412550605000119	0,00	0,00	0,20
3	412550605000075	1,19	3,83	3,22
4	412550605000138	0,22	2,67	12,14
5	412550605000127	0,04	0,77	19,21
6	412550605000097	0,04	1,33	33,28
7	412550605000015	0,00	0,00	54,08
8	412550605000016	0,05	13,35	266,90
9	412550605000121	0,19	75,75	398,68
10	412550605000073	0,01	4,59	458,76
11	412550605000074	0,00	0,00	463,63
12	412550605000052	0,05	48,72	974,33
13	412550605000120	0,37	363,70	982,97
14	412550605000053	0,02	24,52	1225,96
15	412550605000122	0,08	188,13	2351,58
16	412550605000051	0,02	73,98	3698,97
17	412550605000076	0,02	75,56	3778,00
18	412550605000123	0,05	239,40	4788,02
Curva DNL 65dB(A)				
Área (Mi2)	População Estimada		Densidade	
2,36	1116,29		473,00	

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

A tabela (8.20) considera que a população estimada dentro da curva de ruído DNL 65dB(A) é de aproximadamente 1116 pessoas.

A partir dos dados obtidos, é feito um estudo comparativo com os dados anteriores, onde se obtém conclusões a respeito da nova rota estudada. A tabela (8.21) possibilita identificar as principais mudanças ocorridas.

Tabela 8.21 – Relação entre o Procedimento atual / proposto

Procedimento	Área da Curva de Ruído (Mi²)	Nº de pessoas residentes dentro da área da curva de ruído DNL 65 dB(A)
Atual	2,04	1536
Proposto	2,36	1116

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

As mudanças de rotas têm como objetivo gerar mudanças na forma da curva de ruído DNL 65dB(A), para melhor adaptação da sua distribuição espacial ao uso e à

ocupação do solo no entorno do aeroporto. Conforme a tabela (8.22), apesar do aumento de 15,7% na área da curva de ruído DNL 65dB(A), houve um decréscimo significativo do número de pessoas residentes, na ordem de 27,34%, resultante da nova área de curva de ruído DNL 65dB(A) que se encontra em uma área menos populosa que a curva de referência.

Com as informações obtidas pelo SIGA foi possível identificar que a densidade demográfica na região de São José dos Pinhais, lugar em que se encontra instalado o aeroporto de Curitiba, é muito baixa e que as zonas residenciais, identificadas em azul, são esparsas e rodeadas por cinturões verdes. As zonas residenciais são bem recentes e planejadas, são intercaladas por zonas comerciais, zonas industriais e por canais. Em vermelho encontra-se a área patrimonial do aeroporto. Toda informação citada pode ser vista na figura (8.10).

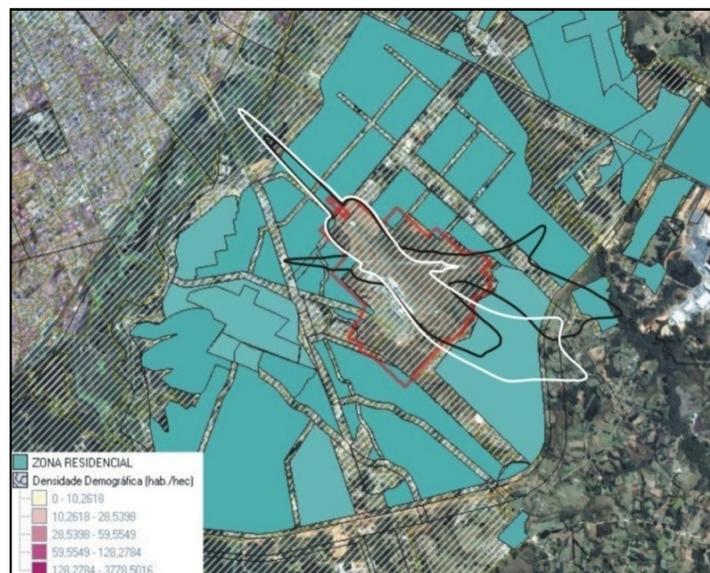


Figura 8.10 - Informações geográficas do aeroporto de Curitiba.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Na figura (8.11) pode-se observar uma visão espacial do aeroporto de Curitiba com as respectivas curvas: referência e proposta.



Figura 8.11 - Resultado comparativo entre as curvas estudadas.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

8.3.7 Utilização do LAeqD e LAeqN como Métricas Alternativas ao DNL.

Como visto anteriormente, o DNL é o índice aceito internacionalmente pelas principais agências internacionais. A FAA considera que o DNL de 65dB(A) ainda é o melhor critério para estabelecer o impacto de ruídos significantes nas comunidades. No caso do Brasil, o DNL é a métrica que está sendo utilizada pela aeronáutica para definir áreas de usos diferentes para o zoneamento aeroportuário.

A métrica DNL é adequada para desenvolver estudos de impacto ambiental. O uso desta métrica sobre zoneamento do aeroporto, no entanto, não parece adequada, uma vez que pode conduzir a distorções da situação do ruído local.

Segundo foi visto na seção 3.1, pesquisadores que criticam o modo como a curva de Schultz foi desenvolvida, para a região onde $DNL < 65dB(A)$, acreditam que ainda existam um grande número de pessoas incomodadas pelo impacto do ruído de aeronaves.

Observa-se que, pela natureza das fontes de ruído envolvidas, o uso do DNL para avaliar o incômodo gerado pelo ruído dos transportes leva a diferentes relações entre os níveis da métrica e do número de pessoas muito incomodadas.

É recomendado o uso para fins de zoneamento, a métrica diurna e noturna, que permitirá analisar os diferentes efeitos adversos, como distúrbios do sono e distúrbios na comunicação oral (SLAMA, 2008).

O zoneamento com base em LAeqD e LAeqN está de acordo com as normas ABNT NBR 10151.

Considerando a norma NBR 10151 e adotando o LAeqD para representar o nível sonoro equivalente durante o dia e o LAeqN para representar o nível sonoro equivalente durante a noite, é possível desenvolver uma condição lógica necessária para o interior de cada área.

O LAeqD é a média de energia sonora durante um espaço de tempo de 15 horas, entre 7:00h e 22:00h.

$$\mathbf{LAeqD} = \mathbf{10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 15} \int_7^{22} \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\}} \quad (8.3)$$

O LAeqN é a média de energia sonora durante um espaço de tempo de 9 horas, entre 22:00h e 7:00h.

$$\mathbf{LAeqN} = \mathbf{10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 9} \int_{22}^7 \left[\frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\}} \quad (8.4)$$

Dos exemplos mostrados para o aeroporto de Curitiba pode-se verificar que o nível DNL 65dB(A) não é representativo do limite de zonas residenciais e não residenciais. De acordo com o valor mostrado acima, foi sugerido os seguintes valores:

Possível:

$$[\Phi(x, L_{AeqD}) \geq 65dB(A)] \& [\Phi(x, L_{AeqN}) \geq 55dB(A)]$$

Que corresponde ao DNL 65dB(A) de acordo com a equação (3.1), da seção 3.3 desta dissertação.

$$IPR = DNL = 10\log\left(\frac{1}{24}\left(15 \cdot 10^{65/10} + 9 \cdot 10^{(55+10)/10}\right)\right) = 65dB(A)$$

8.3.7.1 Aplicação das Métricas LAeqD e LAeqN no Aeroporto de Curitiba.

Para visualizar melhor as características das métricas propostas e o DNL, a figura (8.12) exhibe no mapa a relação entre a curva de nível de ruído DNL 65dB(A) e as duas métricas propostas para o aeroporto de Curitiba de acordo com os dados inseridos no INM.

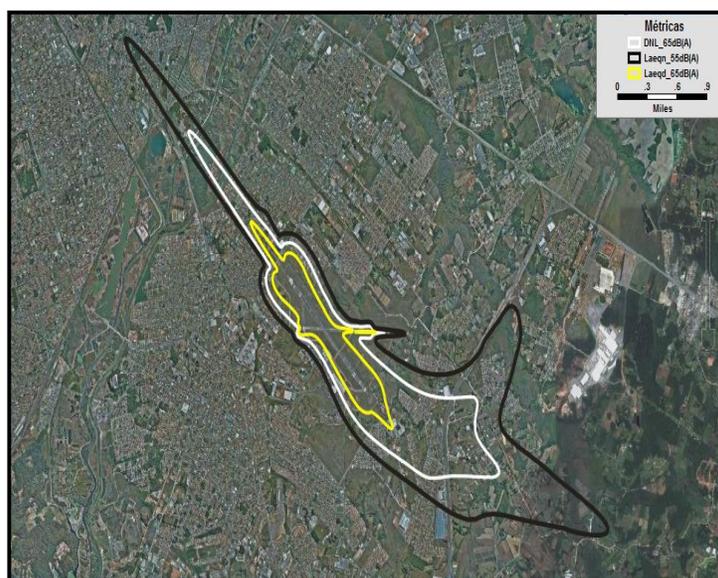


Figura 8.12 - Resultado comparativo entre a métrica estudada e as métricas propostas.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

Pode-se observar em destaque a grande amplitude da curva LAeqN 55dB(A), conforme foi demonstrado antes, existe uma grande influência de aeronaves Capítulo 2 com vôos noturnos neste aeroporto. Esta grande influência dos vôos noturnos faz com

que sua curva não só abrange o município de São José dos Pinhais, em verde, mas como o município de Curitiba, em vermelho (figura 8.13).

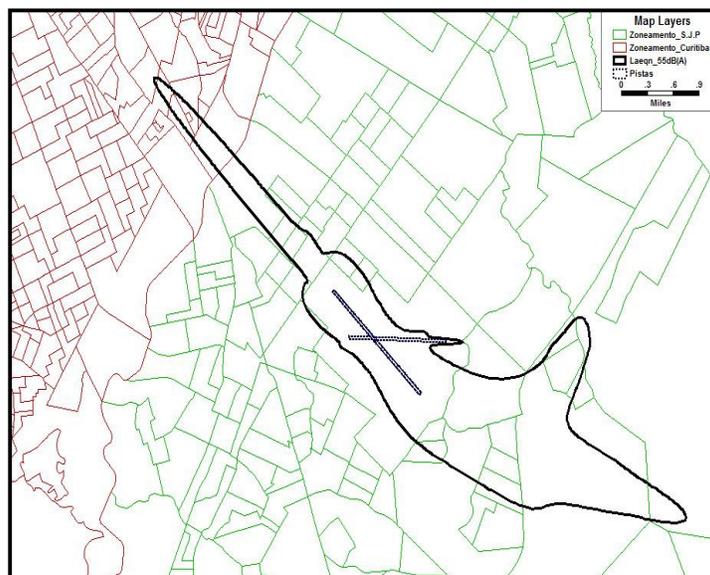


Figura 8.13 - Área de Contorno de Ruído para LAeqN 55dB(A) e a pista do Aeroporto de Curitiba, Paraná, Brasil.

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA/GERA (2009).

A tabela (8.22) fornece os dados relativos do aeroporto de Curitiba e as pessoas incomodadas no município de São José dos Pinhais.

Tabela 8.22 - Número de pessoas afetadas em São José dos Pinhais.

SBCT – São José dos Pinhais				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	412550606000016	0,14	0,22	1,54
2	412550605000075	1,23	4,11	3,34
3	412550605000138	1,22	81,00	66,39
4	412550605000016	0,01	0,77	76,85
5	412550605000127	0,21	22,34	106,39
6	412550605000056	0,00	0,00	124,35
7	412550605000097	0,20	30,93	154,67
8	412550605000050	0,01	5,79	578,95
9	412550605000120	0,38	391,63	1030,60
10	412550605000123	0,02	40,61	2030,41
11	412550605000052	0,10	209,63	2096,31
12	412550605000073	0,04	86,71	2167,64
13	412550605000126	0,09	251,24	2791,58
14	412550605000053	0,05	142,60	2851,96
15	412550605000074	0,03	100,61	3353,53
16	412550605000077	0,04	150,26	3756,43

17	412550605000122	0,14	602,14	4301,00
18	412550605000124	0,10	484,90	4849,00
19	412550605000125	0,08	516,56	6457,00
20	412550605000051	0,05	364,86	7297,19
21	412550605000076	0,05	436,95	8738,92
Curva LAeqN 55dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
4,19		3923,84		936,48

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

A tabela (8.22) considera que a população residente situada dentro da curva de ruído LAeqN 55dB(A) é de aproximadamente 3924 pessoas.

A tabela (8.23) fornece os dados relativos do aeroporto de Curitiba e as pessoas residentes situadas dentro da curva LAeqN 55dB(A) no município de Curitiba.

Tabela 8.23 - Número de pessoas afetadas em Curitiba.

SBCT – Curitiba				
ID	CódigoID	Área	População	Densidade
1	410690205030149	0,00	0,00	53,23
2	410690205030148	0,02	14,23	711,71
3	410690205030204	0,10	82,60	825,95
4	410690205030145	0,03	33,53	1117,80
5	410690205030159	0,00	0,00	2802,70
6	410690205030147	0,04	140,85	3521,35
7	410690205030146	0,00	0,00	19520,00
Curva LAeqN 55dB(A)				
Área (Mi2)		População Estimada		Densidade
0,19		271,22		1427,47

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

A tabela (8.23) considerou que a população residente situada dentro da curva de ruído LAeqN 55dB(A) era de aproximadamente 271.

A tabela (8.24) concatena os resultados das pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído LAeqN 55dB(A) em São José dos Pinhais e Curitiba.

Tabela 8.24 – Resultado da concatenação SJP/Curitiba

Curva LAeqN 55dB(A)		
Área (Mi2)	População Estimada	Densidade
4,38	4195	957.76

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

A tabela (8.25) faz uma análise comparativa dos resultados das pessoas residentes situadas dentro das áreas das curvas de ruído DNL e LAeqN; pode-se notar um acréscimo significativo de pessoas residentes pela métrica LAeqN corroborando com os críticos da métrica DNL.

Tabela 8.25 – Pessoas residentes abrangidas / Métricas

SBCT	Nº de pessoas residentes situadas dentro da área da curva de ruído DNL 65 dB(A)
DNL	1536
LAeqN	4195

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2009).

É conveniente, neste caso, visto que dentro da curva de ruído LAeqN 55dB(A) apresentar um número maior de residentes que dentro da curva de ruído DNL 65dB(A), aplicar o estudo de sensibilidade diretamente nela, proporcionando resultados mais confiáveis no que diz respeito à diminuição do número de residentes evitando problemas no futuro.

Capítulo 9 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Através desta dissertação, foi apresentado um panorama comparativo da situação sonora de quatro dos principais aeroportos brasileiros a partir das metodologias adotadas, o IDS e os Coeficientes de Sensibilidade. Os resultados obtidos indicaram que os fatores mais relevantes ao incômodo sonoro destes aeroportos se relacionam com as operações com os modelos de aeronaves classificadas como Capítulo2, do Anexo 16 da ICAO. Proibidas de operar em diversos países desde 2002, estas aeronaves possuem respaldo legal para continuar operando nos aeroportos brasileiros até o ano de 2010.

O objetivo de identificar e analisar as diversas formas de atenuação do ruído aeronáutico foi atingido, uma vez que ao simular a aplicação de algumas das alternativas possíveis para um determinado aeroporto foi possível visualizar, pelo programa INM, o impacto sonoro correspondente. A partir dessa visualização cabe aos responsáveis julgar pela adoção ou não do procedimento para redução deste ruído.

A maioria das medidas para atenuação do ruído aeronáutico requer investimentos, que normalmente são bastante elevados. Mesmo em solo, muitas vezes o custo de implantação de uma medida pode estar fora do orçamento do aeroporto. Cada projeto e cada ação devem ser muito bem dimensionados, a partir da análise das diferentes formas de atenuação de ruído aeronáutico.

As restrições operacionais com procedimentos operacionais, tais como as mudanças de rotas, é a alternativa mais viável economicamente, visto que não há a necessidade de renovar a frota, as companhias só precisam se adaptar as novas rotas criadas.

O estudo sobre ruído aeronáutico no Brasil, apesar de seguir as diretrizes colocadas pelos grupos de pesquisa da ICAO, vem ganhando espaço e se destacando internacionalmente, como a proposição de metodologias – como a do cálculo do IPR. As ações para mitigação do ruído estão sendo identificadas para cada aeroporto, sendo que em alguns, elas já foram adotadas – como em Congonhas onde a operação de aeronaves do capítulo 2 e a noturna são restritas.

Além das duas ferramentas propostas, é importante quantificar o impacto ambiental sonoro dos aeroportos. Os estudos de controle de ruído num determinado aeroporto se justificam somente se o impacto ambiental sonoro é significativo.

APÊNDICE 1

Tabela demonstrativa dos movimentos do aeroporto de Recife, implementada de acordo com o banco de dados da Infraero de 2005, onde podem ser identificadas as seguintes relações técnicas: identificação das aeronaves, classificação das aeronaves (Capítulos), média dos movimentos para 24 horas e número de movimentos diurnos e noturnos. Nesta tabela foram aplicados os fatores de equivalência vistos na tabela 5.3, com o intuito de calcular o IDS e o IRDS.

Aeronaves	Capítulo	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Cap3D	Cap3N	Cap2D	Cap2N
		(%)	(%)						
707300	2	3,90	2,78	3	1			21	70
737D17	2	5,19	0,00	4	0			28	0
727200	2	1,30	5,56	1	2			7	140
737300	3	22,08	22,22	17	8	17	80		
737400	3	6,49	8,33	5	3	5	30		
737500	3	9,09	8,33	7	3	7	30		
737700	3	9,09	22,22	7	8	7	80		
757200	3	2,60	0,00	2	0	2	0		
A310	3	3,90	0,00	3	0	3	0		
A320	3	11,69	19,44	9	7	9	70		
A330	3	3,90	2,78	3	1	3	10		
ATR42	3	2,60	0,00	2	0	2	0		
EMB120	3	5,19	0,00	4	0	4	0		
EMB145	3	2,60	0,00	2	0	2	0		
F10065	3	9,09	8,33	7	3	7	30		
GIV	3	1,30	0,00	1	0	1	0		
TOTAL		100	100	77	36	69	330	56	210
		MT_{EQ2}		MT_{EQ3}		I₁		I₂	
		266		399		5,88		7,70	

APÊNDICE 2

Tabela demonstrativa dos movimentos do aeroporto de Congonhas, implementada de acordo com o banco de dados da Infraero de 2005, onde podem ser identificadas as seguintes relações técnicas: identificação das aeronaves, classificação das aeronaves (Capítulos), média dos movimentos para 24 horas e número de movimentos diurnos e noturnos. Nesta tabela foram aplicados os fatores de equivalência vistos na tabela 5.3, com o intuito de calcular o IDS e o IRDS.

Aeronaves	Capítulo	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Cap3D	Cap3N	Cap2D	Cap2N
		(%)	(%)						
727200	2	0,03	0,00	0,12	0,00			0,84	0
737D17	2	2,28	0,09	9,38	0,03			65,66	2,1
AC95*	3	0,31	0,00	1,26	0,00	1,26	0,00		
BEC300*	3	0,72	0,70	2,97	0,23	2,97	2,3		
BEC90*	3	3,54	2,73	14,55	0,9	14,55	9		
CNA310*	3	0,09	0,09	0,35	0,03	0,35	0,3		
EMB110									
*	3	0,11	0,00	0,46	0,00	0,46	0,00		
MU2*	3	0,14	0,18	0,58	0,06	0,58	0,6		
737300	3	22,95	19,63	94,42	6,48	94,42	64,8		
737500	3	5,37	0,67	22,07	0,22	22,07	2,2		
737700	3	19,94	30,17	82,03	9,96	82,03	99,6		
737800	3	0,31	0,79	1,26	0,26	1,26	2,6		
A300	3	0,05	0,79	0,2	0,26	0,2	2,6		
A319	3	9,94	11,45	40,87	3,78	40,87	37,8		
A320	3	20,66	20,72	84,97	6,84	84,97	68,4		
ATR42	3	4,86	1,00	20	0,33	20	3,3		
CNA500	3	0,66	0,61	2,7	0,2	2,7	2		
CNA501	3	0,01	0,09	0,03	0,03	0,03	0,3		
CNA525	3	2,82	2,64	11,58	0,87	11,58	8,7		
CNA550	3	0,76	0,36	3,13	0,12	3,13	1,2		
CNA560	3	1,25	0,97	5,13	0,32	5,13	3,2		
CNA650	3	0,60	0,48	2,45	0,16	2,45	1,6		
EMB120	3	1,70	5,18	7	1,71	7	17,1		
EMB135	3	0,13	0,09	0,52	0,03	0,52	0,3		
FAL200	3	0,08	0,00	0,33	0,00	0,33	0,00		
FAL20A	3	0,17	0,00	0,7	0,00	0,7	0,00		
FOKKER									
50	3	0,44	0,30	1,81	0,1	1,81	1		
GIV	3	0,08	0,18	0,32	0,06	0,32	0,6		
LEAR60	3	0,04	0,09	0,16	0,03	0,16	0,3		

TOTAL	100	100	411,35	33,01	401,85	329,8	66,5	2,1
	MT_{EQ2}		MT_{EQ3}		I₁		I₂	
	68,6		731,65		1,80		2,55	

(*) Empresas de táxi aéreo com vôos regulares.

APÊNDICE 3

Tabela demonstrativa dos movimentos do aeroporto de Pampulha, implementada de acordo com o banco de dados da Infraero de 2005, onde podem ser identificadas as seguintes relações técnicas: identificação das aeronaves, classificação das aeronaves (Capítulos), média dos movimentos para 24 horas e número de movimentos diurnos e noturnos. Nesta tabela foram aplicados os fatores de equivalência vistos na tabela 5.3, com o intuito de calcular o IDS e o IRDS.

Aeronaves	Capítulo	Diurno		Noturno		Cap3D	Cap3N	Cap2D	Cap2N
		(%)	(%)	Diurno	Noturno				
737300	3	5,19	0,00	8	0	8	0		
737500	3	22,08	0,00	34	0	34	0		
CL601	3	22,08	0,00	34	0	34	0		
ATR42	3	5,19	0,00	8	0	8	0		
EMB120	3	3,89	0,00	6	0	6	0		
DHC830	3	6,49	0,00	10	0	10	0		
F10065	3	35,08	0,00	54	0	54	0		
TOTAL		100	0	154	0	154	0	0	0
		MT_{EQ2}		MT_{EQ3}		I₁		I₂	
		0		154		1,00		0,00	

APÊNDICE 4

Tabela demonstrativa dos movimentos do aeroporto de Curitiba, implementada de acordo com o banco de dados da Infraero de 2005, onde podem ser identificadas as seguintes relações técnicas: identificação das aeronaves, classificação das aeronaves (Capítulos), média dos movimentos para 24 horas e número de movimentos diurnos e noturnos. Nesta tabela foram aplicados os fatores de equivalência vistos na tabela 5.3, com o intuito de calcular o IDS e o IRDS.

Aeronaves	Capítulo	Diurno Noturno		Diurno	Noturno	Cap3D	Cap3N	Cap2D	Cap2N
		(%)	(%)						
727200	2	0,10	8,91	0,12	2,71			0,84	189,7
737D17	2	0,02	0,10	0,03	0,03			0,21	2,1
737300	3	15,02	4,57	18,87	1,39	18,87	13,9		
737400	3	0,23	1,18	0,29	0,36	0,29	3,6		
737500	3	13,23	7,86	16,62	2,39	16,62	23,9		
737700	3	17,38	16,45	21,84	5	21,84	50		
737800	3	3,49	11,15	4,39	3,39	4,39	33,9		
747400	3	0,10	1,25	0,12	0,38	0,12	3,8		
757200	3	3,90	8,49	4,9	2,58	4,9	25,8		
767200	3	0,00	0,10	0	0,03	0	0,3		
767300	3	0,23	0,86	0,29	0,26	0,29	2,6		
A319	3	5,49	0,00	6,9	0	6,9	0		
A320	3	8,73	5,53	10,97	1,68	10,97	16,8		
ATR42	3	1,31	5,82	1,64	1,77	1,64	17,7		
EMB120	3	4,88	2,14	6,13	0,65	6,13	6,5		
EMB110	3	2,62	6,91	3,29	2,1	3,29	21		
F10065	3	23,29	18,68	29,26	5,68	29,26	56,8		
TOTAL		100,00	100	125,66	30,4	125,51	276,6	1,05	191,8
		MT_{EQ2}		MT_{EQ3}		I₁		I₂	
		192,85		402,11		3,81		5,81	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990. **NBR 11415: Ruído Aeronáutico**. Brazil, 1990.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993. **NBR 12859: Avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas**. Brazil, 1993.

BRONZAFT, A. L., AHERN, K.D., MCGINN, R., O’CONNOR, J. & SAVINO, B., 1998 “Aircraft noise: A potential health hazard” **Environment and Behavior** v.30, pp. 101–113.

BRONZAFT, A.L., 1998, “A voice to end the government’s silence on noise” **Hearing Rehabilitation Quarterly** v.29, pp. 6–12.

BRUEL & KJAER, 2001, *Sound & Vibration Measurement –Environmental Noise*, Denmark.

CARVALHO, L.A., SLAMA, J.G., GAMA, A.P., 2009, *Ferramenta de auxílio à aplicação da Abordagem Equilibrada em aeroportos brasileiros*, Sitraer, São Paulo.

CARVALHO, L.A., SLAMA, J.G., GAMA, A.P., 2009, *Ferramenta de auxílio à implementação da Abordagem Equilibrada em controle de ruído aeroportuário*, Anpet, Espírito Santo.

CARVALHO, L.A., SLAMA, J.G., GAMA, A.P., 2009, *Planejamento Ambiental em aeroportos brasileiros com o auxílio de ferramentas à aplicação da Abordagem Equilibrada*, UFRJ Ambientável, Rio de Janeiro.

FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1996, **Integrated Noise Model, User’s Guide versão 5.1**, USA, 1996.

GAMA, A. P., 2004, *Análise de Sensibilidade: Um Instrumento de apoio à gestão ambiental sonora em aeroportos urbanos*, Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro – FAUPROARQ, Rio de Janeiro.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 1993, **Aircraft Noise, Annex 16, Volume 1 – Environmental Protection, third edition**. USA, 1993.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2002, **Airport Planning Manual, Doc 9184, Part 2 – Land Use and Environmental Protection**. USA, 2002.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2004, **Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management, Doc 9829**. USA, 2004.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2004, **Assembly Resolution A35-5, Doc 9848, Appendix C**. USA, 2004.

ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2007, **Environmental Report**. USA, 2007.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL, 1981, **Método de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos, Boletim Técnico no 4102-0581**. Brazil, 1981.

INFRAERO - EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA, 1990, **Ato Administrativo 193/SEDE/90**. Brazil, 1990.

NOGUEIRA, R. DE C. C. AND SLAMA, J.G., 2006, *Routes changes aiming noise levels reduction on residential use zones around airports using aircraft's noise classification by sensibility coefficients*, Internoise, Hawaii, USA.

PORTLAND AIRPORT – PDX, 1996, **Airport Annual Attenuation Plan Report**. USA, 1996.

SLAMA, J.G., 2006, *Análise Crítica da Legislação Ambiental e Legislação Aeronáutica com Relação ao Ruído – Recife e Congonhas*, Sitraer, Paraná.

SLAMA, J.G. AND REVOREDO, T.C., 2005, *Metrics Comparison and Control Approach in Airport Noise*, in: Air Transport Research Society (ATRS) World Conference, v. 1. p. 1-8, Brazil.

SLAMA, J.G., GAMA, A.P., CARVALHO, L.A., MAGINA, R., REVOREDO, T.C., 2008, *Coeficientes de Sensibilidade: um instrumento de apoio à gestão ambiental sonora em aeroportos urbanos*, Sitraer, Rio de Janeiro.

VALIM, F., 2006, *Análise das diferentes formas de atenuação do ruído aeronáutico*, master degree thesis, University of Brasília, Brasília, DF, Brazil.

VALIM, F., PRADO, M., YAMASHITA, Y., SLAMA, S., 2007, *Aircraft Noise Impact – Indicator Number*, Internoise, Istanbul, Turkey.

Site: ICAO. Disponível em:

<http://www.icao.int/icao/en/env/noise.htm>. Acesso em: 8 Jan. 2009, 13:36:59.

Site: IATA. Disponível em:

http://www.iata.org/whatwedo/environment/aircraft_noise.htm. Acesso em: 12 Jan. 2009, 07:21:58.

Site: INFRAERO. Disponível em:

<http://www.infraero.gov.br/>. Acesso em 15 Jan. 2009, 05:45:26.

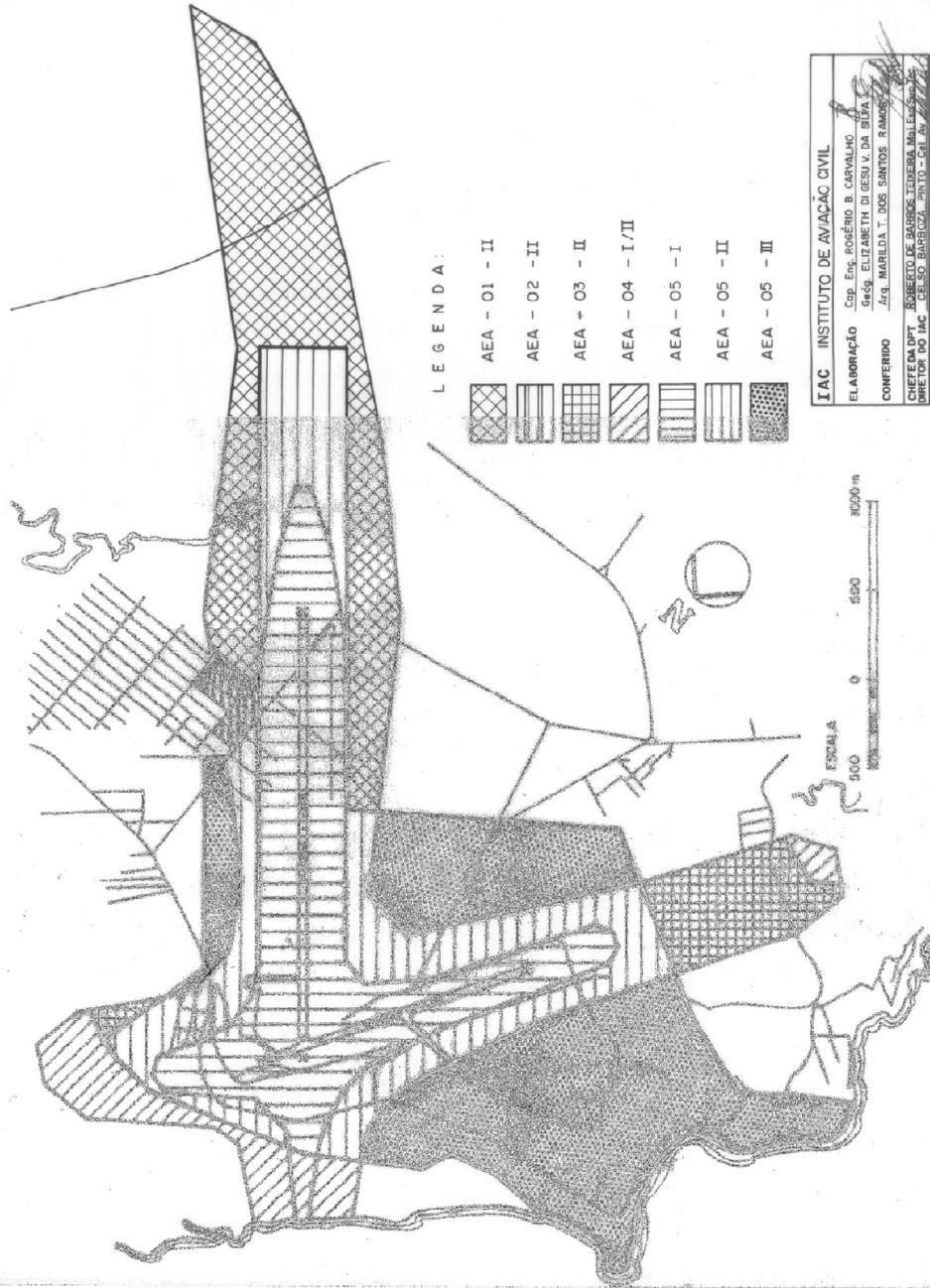
Site: MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em:

<http://www.centrodametropole.org.br/mc/html/bases.html> /. Acesso em 30 Mar. 2009, 14:56:01.

ANEXO 1

**Plano específico de zoneamento de ruído (PEZR) para o aeroporto de
Florianópolis (SBFL).**

ANEXO I
 PLANTA DAS ÁREAS ESPECIAS AEROPORTUARIAS



LEGENDA:

- AEA - 01 - II
- AEA - 02 - II
- AEA - 03 - II
- AEA - 04 - I/II
- AEA - 05 - I
- AEA - 05 - II
- AEA - 05 - III

IAC INSTITUTO DE AVIACAO CIVIL

ELABORACAO Cóp. Eng. ROGÉRIO B. CARVALHO

Gráf. ELIZABETH DI GESU V. DA SILVA

CONFERIDO Arq. MARILDA T. DOS SANTOS RAMOS

CHEFE DA DPT. ROBERTO DE SAUS REINEIRA MULLER

DIRETOR DO IAC CESO BARBOZA PINTO - CH. Ar.

ESCALA



500

1000

2000 m

0

500

1000

2000 m

ANEXO 2

1 - Legislação Aplicada ao Aeroporto de Recife

O caso do aeroporto Internacional da Cidade do Recife – SBRF, quanto às restrições de uso e ocupação do solo e dos níveis de ruído no entorno do aeroporto, a absorção da Legislação Aeronáutica relativa ao PEZR – Plano Específico de Zoneamento do Ruído - no corpo da Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município de Recife – LUOS, estabelece uma compatibilidade entre as Leis Municipais e a Aeronáutica (Federal), já que a LUOS remete ao PEZR. Além disto, a Prefeitura instituiu Lei específica para a ZEA – Zona Especial do Aeroporto, como veremos a seguir.

Em primeiro lugar, na LUOS – Lei do Uso e da Ocupação do Solo do Município de Recife, Capítulo II – Da divisão territorial, Seção I – Do Zoneamento, Subseção IV – Das zonas de diretrizes específicas, Artigo 25, define-se que a “Zona Especial do Aeroporto - ZEA - compreende as áreas de entorno do Aeroporto dos Guararapes que requerem tratamento diferenciado quanto à sua ocupação e instalação de usos, visando conter a densidade populacional e a compatibilização com a Lei Federal específica da área”.

Ainda na LUOS – Lei do Uso e da Ocupação do Solo do Município de Recife, Capítulo III – Dos usos e atividades urbanas, Seção III – Dos usos geradores de incômodo à vizinhança, Artigo 48 – relativo aos casos de dispensa de análise de localização, o Parágrafo III inclui as APGIs (atividades potencialmente geradoras de incômodo) classificadas nos níveis 2 e 3 de “incomodidade”, a serem instaladas nas Áreas Especiais Aeroportuárias - 1 (AEA-1), inseridas no perímetro definido no Plano Especial de Zoneamento de Ruído do Aeroporto dos Guararapes - PEZR - Recife, do Ministério da Aeronáutica.

Por outro lado, ainda na mesma Seção III, o Art. 51 estabelece que “Nenhuma Atividade Potencialmente Geradora de Incômodo à Vizinhança” - APGI -, por ruídos ou sons, poderá ser instalada nas proximidades de escolas, hospitais, clínicas e cemitérios, quando gerarem, nos limites destas propriedades, níveis de ruído iguais ou superiores a 45 decibéis - dB (A) nos períodos diurno e vespertino, e 40 decibéis - dB (A) no período noturno.

§ 1º - Para efeito de enquadramento nas exigências previstas no "caput", a análise considerará próximos à APGI, escolas, hospitais, clínicas e cemitérios, inseridos em área delimitada por uma circunferência com raio de 100 m (cem metros) a partir da fonte de ruído dessa APGI.

§ 2º - As escolas, hospitais, clínicas e cemitérios que venham a se instalar, posteriormente à APGI, na área delimitada no parágrafo anterior, deverão adequar-se à exigência prevista no "caput" deste artigo.

A Lei nº 16.414 /98, que “Dispõe sobre as condições de Uso e Ocupação do Solo na Zona Especial do Aeroporto - ZEA e dá outras providências”, foi criada a partir de determinação da LUOS, contida no Parágrafo Único do Capítulo II – Da divisão territorial, Seção I – Do Zoneamento, Subseção IV – Das zonas de diretrizes específicas, Artigo 25 (já citado) no seu Parágrafo Único: “A Secretaria de Planejamento Urbano e Ambiental - SEPLAM, elaborará lei específica para os fins previstos no caput deste artigo submetendo-a a aprovação:

- I - Da Comissão de Controle Urbanístico -CCU;
- II - Do Conselho de Desenvolvimento Urbano -CDU; e
- III - Da Câmara Municipal do Recife -CMR.

Esta Lei (16.414 /98) remete à Portaria DAC nº 232/DGAC de 14 de abril de 1997, inclusive na definição das AEA – Áreas Especiais Aeroportuárias, e no seu Artigo 7º dispõe que “A Prefeitura da Cidade do Recife - PCR - somente concederá “aceite-se”, “habite-se” e “alvará de funcionamento” a empreendimentos na área da ZEA, sujeitas às exigências previstas na Portaria DAC 232/DGAC, do 14.04.97, após a comprovação, pelo DAC/MAer, do cumprimento daquelas exigências”.

Deste modo a Portaria DAC nº 232/DGAC de 14 de abril de 1997, é claramente absorvida no âmbito da legislação municipal de Recife. Note-se que a LUOS é de janeiro de 1997, a Portaria do DAC é de abril de 1997, e a Lei 16.414 é de 1998, o que demonstra um esforço por parte do município de Recife de compatibilizar o PEZR com as Legislações de Uso e Ocupação do Solo existentes em Recife.

2 - Análise da Legislação Ambiental relativa à Poluição Sonora pertinente aplicável ao aeroporto de Recife – SBRF.

A tendência observada nas grandes cidades quanto à elaboração de suas leis de Poluição sonora é de se harmonizar com a Resolução CONAMA 001 de 8 de março de 1990, que remete às normas NBR10151 e NBR10152. No caso do Município de Recife, estas normas são utilizadas parcialmente, no Código de Meio Ambiente e Equilíbrio Ecológico da Cidade do Recife, só para o caso de equipamentos em obras.

O Código do Meio Ambiente e do Equilíbrio Ecológico da Cidade do Recife, Lei n 16.243/96, no parágrafo 1, artigo 51, Subseção 2, Seção IV, apresenta-se o que podemos entender como um critério que estabelece que os níveis de ruído não podem ultrapassar em 10dB(A) ao ruído de fundo existente no local (sem tráfego) (critério de emergência).

O disposto nesta dissertação não tem equivalente na Resolução CONAMA supracitado. Este valor critério é estabelecido dentro dos limites da propriedade onde se dá o incômodo, para o caso de Recife. Observa-se que não há definição clara de medição do ruído de fundo, e este limite é aplicável à cidade de um modo geral.

Encontramos ainda no Parágrafo 2 do Código de Meio Ambiente um nível critério de avaliação diurno de 70dB(A) e noturno de 60dB(A) aplicável em todas as áreas da cidade exceto escolas, creches, bibliotecas públicas, cemitérios, hospitais, ambulatórios, casas de saúde e similares. Nestes locais citados, os níveis critérios em áreas externas preconizados são da ordem de 55dB(A) durante o período diurno e 45dB(A) durante o período noturno.

Estes critérios não apresentam restrições diferenciadas para zonas residenciais, o que nos leva a interpretar que estas estão incluídas nas faixas aplicáveis a todos os outros usos, exceto os usos discriminados acima (escolas, creches, bibliotecas públicas, cemitérios, hospitais, ambulatórios, casas de saúde e similares).

A lei 16.414/98 (do Município de Recife) que dispõe sobre o Uso e a Ocupação do Solo na ZEA - Zona Especial de Aeroporto, remete à Portaria DAC 232/DGAC, de

14/04/97, que por sua vez define as áreas I, II e III conforme estabelece a portaria 1.141/GM-5, de 8 de dezembro de 1987. Cada uma das áreas I, II e III do PEZR/SBRF, é composta de subáreas correspondentes às Áreas Especiais Aeroportuárias – AEA. Na Portaria DAC 232/DGAC, de 14/04/97, são descritas as 20 AEA's que compõem a ZEA, que abrangem ambos os municípios: Recife e Jaboatão dos Guararapes.

Na Portaria DAC 232/DGAC, de 14/04/97, são definidos usos permitidos, permitidos com restrição, e usos proibidos na ZEA, tanto para sua parte correspondente ao Município de Jaboatão dos Guararapes quanto à sua parte correspondente ao Município de Recife.

ANEXO 3

1 - Análise da Legislação Ambiental relativa à Poluição Sonora pertinente aplicável ao aeroporto de Congonhas - SBSP.

Portaria DAC N°0629/ GM5, de 02 de maio de 1984.

O plano específico de zoneamento de ruído (PEZR) do Aeroporto Internacional de Congonhas – SBSP, que define as áreas de restrições de uso do solo (Área I, Área II e Área III), foi aprovado em 02 de maio de 1984 e compreende somente a pista 17R/35L.

A segunda pista 17L/35R, onde atualmente ocorrem cerca de 25% do total de movimentos diários deste aeroporto, ainda não foi incorporada ao plano específico de zoneamento de ruído em vigor.

O PEZR em vigor em Congonhas se encontra bastante desatualizado em comparação com a situação sonora atual deste aeroporto. Os resultados das simulações acústicas realizadas com base no mês de janeiro de 2004, demonstram que a área de curva DNL 65 dB (A) atual é de 6,96 km², ou seja, 152% maior que as áreas delimitadas pelo PEZR (2,76 km²).

De acordo com as simulações acústicas realizadas no INM, com base no mês de janeiro de 2004, o ruído emitido por cerca de 600 movimentos diários processados no aeroporto de Congonhas, afeta principalmente os distritos de Jabaquara, Campo Belo, Moema e Saúde. Em relação ao mapeamento de receptores críticos, verificou-se a existência de 11 unidades de ensino e 4 unidades de saúde dentro do PEZR em vigor. Constatou-se que tais receptores, conforme a seguir relacionados, são na maioria da rede particular.

EM120 - João Carlos da Silva Borges Prof. Emef;

EP237 - Criativa Colégio;

EP099 - Tistu Escola de Educação Infantil;

EP070 - Monteiro Lobato Projeto Educ;

HS613 – Hosp. Maternidade Árabe Brasileiro;

HS616 – Hosp. da Criança;

EP036 - Divina Pastora Instituto;

EP085 - Pingo de Luz Centro Educ;

HS615 – Hosp. Maternidade N Sra. Lourdes;

EP071 - Montessori Santa Terezinha Colégio UnidII;
EP024 - Bem te Vi Creche;
CS604 – Amb. Dr. Geraldo da Silva Ferreira;
EM020 - Armando Arruda Pereira EMEF;
EP100 - Trem Azul Unid Educação e Recr. Infantil;
EM026 - Cacilda Becker EMEF;

Do total de 15 receptores identificados, somente 4 pertencem à rede pública, ou seja, as escolas municipais João Carlos da Silva Borges Prof. Emef, Armando Arruda Pereira EMEF e Cacilda Becker EMEF e o centro de saúde Ambulatorial Dr. Geraldo da Silva Ferreira.

Cabe destacar que a escola municipal João Carlos da Silva Borges Prof. Emef, se encontra em primeiro lugar em situação desfavorável em relação ao ruído aeronáutico, dentro do quadro geral de 46 receptores localizados na região em estudo.

Legislação de Poluição Sonora do município de São Paulo, Lei nº 11804, de 19 de junho de 1995.

Do mesmo modo que a maioria das capitais brasileiras, a legislação do município de São Paulo que dispõe sobre os limites de emissão sonora visando o controle da poluição sonora, faz referência a NBR 10151 conforme descrito abaixo:

Art. 2º - São prejudiciais à saúde e ao sossego público emissões de ruídos em níveis superiores ao traçado pela Norma Brasileira Registrada (NBR) 10.151, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Parágrafo único - Para os efeitos desta lei, será utilizado como método para medição de nível de ruído, o contido na Norma Brasileira Registrada (NBR) 10.151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que fixa como elementos básicos para avaliação de ruídos em áreas habitadas:

I - As zonas de uso existentes na cidade de São Paulo, em conformidade com a Lei nº 7.805, de 1º de novembro de 1972;

II - Os períodos de emissão de ruídos, compreendidos para o período diurno, o horário das 6:00 às 20:00 e para o período noturno, o horário das 20:00 às 6:00 horas.

Art. 3º - Os sons produzidos por obras de Construção Civil, por fontes móveis e automotores e por fontes diversas que flagrantemente perturbam o sossego da comunidade circundante, serão limitados pelos critérios estabelecidos na NBR 10.151.

A legislação de poluição sonora do município de São Paulo está de acordo com a NBR 10151, exceto no que diz respeito à questão do horário limite para o período noturno. O período noturno estabelecido pela legislação de São Paulo se inicia às 20:00hs e termina às 6:00hs, em discordância ao subitem 6.2.2.do item 6 da NBR 10151, conforme a seguir descrito:

“6.2.2 Os limites de horário para o período diurno e noturno da Tabela 1 podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 horas e não deve terminar antes das 7 horas do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o término do período noturno não deve ser antes das 9 horas.”

Cabe ressaltar, que o limite para o período noturno adotado como parâmetro para a realização das simulações acústicas no INM, foram de acordo com a norma NBR 10151, ou seja, 22 às 7 horas.

Lei de uso do solo de São Paulo - Lei nº 7.805, de 1º de novembro de 1972;

O zoneamento em vigor na região ao redor do aeroporto de Congonhas tem origem na Lei nº 7.805, de 1º de novembro de 1972, primeira lei de zoneamento a dispor sobre o parcelamento, uso e ocupação do município de São Paulo.

Conforme representado no mapa 2 em anexo, cinco tipos de zona de uso solo se destacam dentro das áreas de abrangência da curva de ruído DNL 65 dB (A), com a seguinte denominação: Z1, Z2, Z3, Z4 e Z10. Em todas estas existe a permissão para uso residencial, de acordo com o descrito a seguir:

Z1 - Zonas de uso estritamente residencial de densidade demográfica baixa

É uma zona destinada exclusivamente a residências unifamiliares horizontais, sendo permitida a construção de apenas uma edificação por lote.

Esta zona corresponde em geral a bairros de alto padrão localizados no distrito de Saúde, região ao longo da pista 17L/35R.

Z2 - Zona de uso predominantemente residencial de densidade demográfica baixa. Permite a implantação de estabelecimentos residenciais unifamiliares, multifamiliares e de conjuntos residenciais. Também estão contemplado os estabelecimentos de comércio, serviços e uso institucional somente de âmbito local, bem como, determinados usos industriais considerados não incômodos.

A zona 2 pode ser observada na maior parte da área de curva de ruído DNL 65dB(A), principalmente na região do distrito de Jabaquara (cabeceiras 35R e 35L), local onde foram identificados a maioria dos receptores críticos.

Z3 - Zona de uso predominantemente residencial, de densidade demográfica média, apresenta permissões de uso semelhante ao descrito na zona 2. A diferença entre Z2 e Z3, consiste basicamente nos valores superiores da Z3 de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento do lote, possibilitando o maior adensamento e a verticalização das edificações.

Z4 - Zona de uso misto, de densidade demográfica média – alta. Zona destinada à localização de atividades típicas de subcentros regionais, permitindo também usos residenciais. Apresenta valores de taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento do lote superior às zonas Z1, Z2 e Z3.

Z10 - Zona de uso predominantemente residencial, de alta densidade, destinada às diversas categorias de uso residencial, tanto horizontal como vertical.

É permitido edificar duas vezes e meia a área do lote, podendo chegar a quatro vezes, dependendo do tamanho do lote. Nessa zona de uso também são admitidos o comércio e o serviço de nível local (até 250,00 m²).

Norma NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – junho de 2000

Conforme mencionado anteriormente, a Legislação de Poluição Sonora do município de São Paulo (Lei nº 11804, de 19 de junho de 1995), remete à norma da ABNT NBR 10.151.

A norma NBR 10151 estabelece limites de emissão sonora em função do zoneamento urbano, onde se encontra o empreendimento e os receptores e do período do dia. Com base nestes fatos, a região ao redor do aeroporto de Congonhas pode ser caracterizada como “Área mista, predominantemente residencial”.

ANEXO 4

SBCT - Pistas

ADC - SBCT WGS - 84

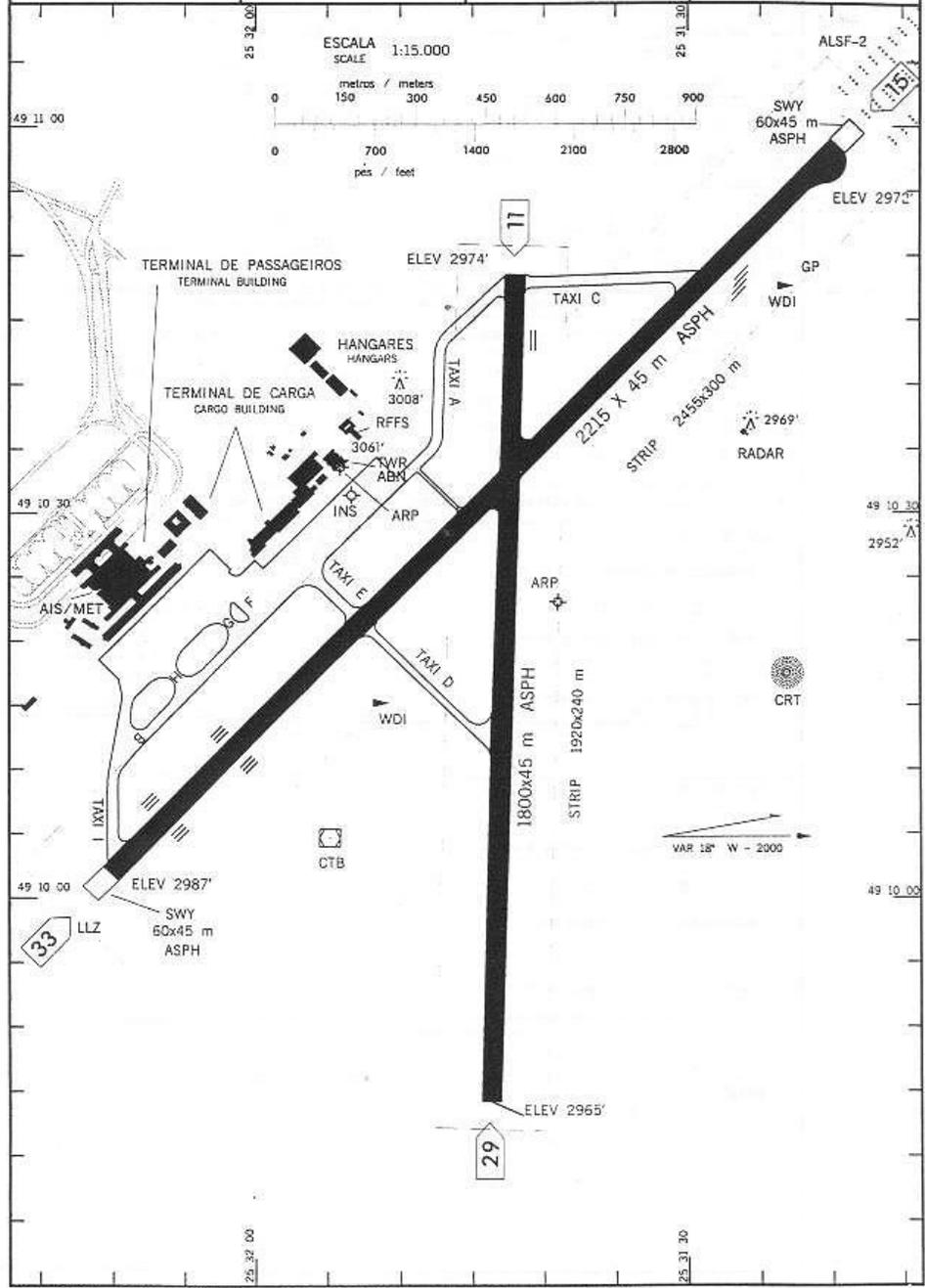
CURITIBA / AFONSO PENA, INTL

PR-BRASIL

ARP S25 31 54 W049 10 34

ELEV 2990'

ATIS	NIL	CLRD	NIL	GNDC	121.90	TWR	118.55	121.50
------	-----	------	-----	------	--------	-----	--------	--------



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)