

## Estudos em Ruído Aeroportuário do Grupo de Acústica Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro

J. Slama<sup>a</sup> R. Nogueira<sup>b</sup> T. Revoredo<sup>c</sup> A.P. Gama<sup>d</sup> C. Azevedo<sup>e</sup> e R. Magina<sup>f</sup>

<sup>abcdef</sup> *Grupo de Acústica Ambiental PEM/COPPE, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Bloco G, sala 210, cep 21945-970 Rio de Janeiro, Brasil,*

<sup>a</sup>*[jules@rionet.com.br](mailto:jules@rionet.com.br)*

<sup>b</sup>*[ritanogueira@superig.com.br](mailto:ritanogueira@superig.com.br)*

<sup>c</sup>*[revoredo@vishnu.coep.ufrj.br](mailto:revoredo@vishnu.coep.ufrj.br)*

<sup>d</sup> *PROARQ/FAU/UFRJ, [anapgama@yahoo.com.br](mailto:anapgama@yahoo.com.br)*

<sup>e</sup>*[cmnazevedo@hotmail.com](mailto:cmnazevedo@hotmail.com)*

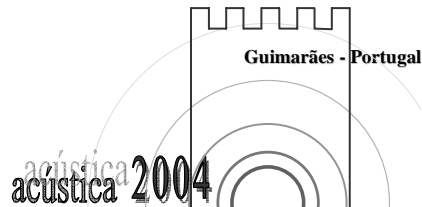
<sup>f</sup>*[rafamagina@hotmail.com](mailto:rafamagina@hotmail.com)*

**RESUMO:** Desde o ano 2000 diversos estudos relacionados ao controle de ruído aeroportuário vem sendo desenvolvidos pelo Grupo de Acústica Ambiental da UFRJ. Diversas curvas de ruído utilizando os softwares INM (integrated Noise Model), HNM (Heliport Noise Model) e NMPLOT foram desenvolvidas para os 65 maiores aeroportos brasileiros administrados pela Infraero, considerando a situação atual e previsões futuras de movimentação de aeronaves. Foi também realizada a classificação dos principais aeroportos brasileiros com relação ao impacto ambiental sonoro, a análise de sensibilidade da exposição das populações vizinhas aos mesmos ao ruído aeroportuário e a caracterização do ruído emitido por equipamentos de apoio ao solo. Os estudos vêm se ampliando e o Grupo de Acústica Ambiental da UFRJ tem utilizado técnicas baseadas em lógica fuzzy, redes neurais artificiais e abordagem de controle aplicando-as às questões aeroportuárias de maneira a desenvolver metodologias que possam auxiliar a tomada de decisões por parte das autoridades e dos responsáveis pela gestão de aeroportos e colaborar para o bem estar das populações envolvidas de um modo geral.

**ABSTRACT:** Since the year 2000, a number of works related to airport noise control have been developed by the Environmental Acoustics Group of the Federal University of Rio de Janeiro. A number of noise footprints using the softwares INM (Integrated Noise Model), HNM (Heliport Noise Model), and NMPLOT were developed for the 65 biggest brazilian airports administrated by INFRAERO considering the current and future estimatives of aircraft movements. A classification of the main brazilian airports according to noise impact was also realized as well as sensibility analysis of the noise exposure of the populations near the airports and the acoustical characterization of the noise emission of the ground support equipments. The studies are being extended and the Environmental Acoustics Group of UFRJ have been using technics such as fuzzy logic, artificial neural networks and control approach applying them to airport matters meaning to develop methodologies that can be useful to authorities and airport management responsables in making decisions as well as collaborate to the welfare of the involved populations.

### 1. INTRODUÇÃO

Desde o ano de 2001, o grupo de Acústica Ambiental da COPPE, vem desenvolvendo junto à INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária) estudos e pesquisas integrando um projeto de Controle do Ruído Aeroportuário, considerando o estudo de todos os temas relacionados abaixo:



- a) controle do ruído na fonte;
- b) zoneamento e fiscalização do uso do solo no entorno dos aeroportos;
- c) medidas específicas e distintas para a resolução do problema dependendo das condições locais, desde que o ruído aeroportuário afeta diferentemente os aeroportos e áreas vizinhas;
- d) revisão das legislações que restringem operação das aeronaves em função do ruído;
- e) revisão das legislações que restringem o uso e ocupação do solo de no entorno dos aeroportos.

Inicialmente, cerca de 4 anos atrás, o projeto visou realizar a atualização das curvas de ruído dos aeroportos administrados pela empresa citada. Desde então, este trabalho vem se desenvolvendo em vários níveis e se desdobrando em novos projetos, em crescente aprofundamento das questões e aspectos relacionados com a problemática do Ruído Aeroportuário.

## 2. PROJETOS DESENVOLVIDOS

### 2.1 Curvas de Ruído

**Atualização** – com a utilização dos os softwares INM (*Integrated Noise Model*) e HNM (*Heliport Noise Model*), foram atualizadas as curvas de ruído dos 65 aeroportos administrados pela INFRAERO (2001 e 2002). A dinâmica de operação dos aeroportos exige um trabalho constante de atualização das curvas de ruído, como recurso para monitoramento e controle do ruído no entorno dos mesmos.

**Projeção para 2020** – com a utilização dos softwares citados, além do NMPLOT, este trabalho visou fornecer subsídios à INFRAERO para avaliar o potencial do incômodo por ruído aeroportuário no entorno dos aeroportos em longo prazo, com base nos dados de projeção de demanda do setor responsável pelo planejamento dos aeroportos sob sua administração.

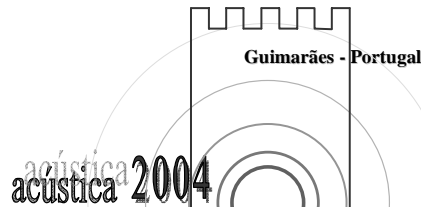
**Simulação de acordo com a capacidade máxima de operação dos aeroportos** – elaboração de curvas de ruído para simulação das condições de ruído no entorno dos aeroportos, com a maximização de operação dos mesmos.

### 2.2 Caracterização de Ruído Emitido por Equipamentos de Apoio ao Solo

Inicialmente elaborou-se uma metodologia para medição sonora dos equipamentos, considerando-se dois tipos de fonte: fixa e móvel. Em seguida, procedeu-se a caracterização acústica dos equipamentos em uso no Aeroporto do Galeão, segundo a metodologia proposta. Os resultados deste trabalho foram utilizados na argumentação de proposta de limitação de níveis de ruído para operação de equipamentos de apoio ao solo nos aeroportos brasileiros, tomando-se como parâmetro o nível de ruído da APU – Auxiliary Power Unit.

### 2.3 Hierarquização dos Aeroportos quanto ao Impacto Sonoro no Entorno dos mesmos

Neste trabalho foi realizada uma classificação relativa de dezessete dos sessenta e seis aeroportos administrados pela INFRAERO, de acordo com o impacto ambiental sonoro. Os



dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da primeira versão do SIGMA – Sistema de Informação Geográfica e Meio Ambiente, desenvolvido no âmbito da INFRAERO, e informações complementares disponibilizadas pela empresa, e resultados dos estudos em ruído aeroportuário, realizados pelo Grupo de Acústica Ambiental da COPPE.

Foram consideradas algumas variáveis significativas para a avaliação da exposição sonora das populações residentes na área de influência acústica de aeroportos. A área das curvas de ruído  $L_{DN} = 65\text{dB(A)}$  e a quantificação da população residente dentro destas curvas de ruído foram os dados de entrada de um programa baseado em Lógica Fuzzy, criado especialmente para gerar esta classificação [1].

A Lógica Fuzzy foi utilizada como ferramenta para elaboração de um sistema classificador não linear, que permite a ampliação dos parâmetros de entrada bem como a introdução de outros aeroportos para hierarquização segundo o impacto sonoro no ambiente, em futuros estudos.

O modelo adotado neste sistema classificador foi proposto por Cox e utiliza uma técnica simples de implicação Fuzzy.:

Quando duas regiões Fuzzy são relacionadas através de uma simples função de implicação proporcional da forma  
se  $x$  é  $Y$  então  $z$  é  $W$  (1)

(onde  $Y$  e  $W$  são dois sub-conjuntos Fuzzy)  
então o resultado pode ser representado pela função de transferência

$$z = f(x, Y), W \quad (2)$$

Assim o valor da saída  $z$  pode ser estimado a partir de um valor correspondente da função de pertinência da região Fuzzy da variável antecedente.  
Este método, descrito no capítulo 8 do livro do Cox [1] para um modelo de avaliação de risco de projeto, foi utilizado para hierarquizar os aeroportos com relação ao impacto ambiental sonoro.

### 3. PROJETOS EM DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Curvas de Ruído

**Continuação da Atualização** – Refinamento da metodologia e um contato mais direto com o setor de operações de cada aeroporto.

**Continuação das Projeções para 20 anos e das simulações de acordo com a capacidade máxima de operação dos aeroportos** –A cada ano, o Grupo de Acústica Ambiental da COPPE inclui novos aeroportos neste estudo, de acordo com a demanda da INFRAERO.

### 3.2 Estudos de Sensibilidade

Estes estudos de sensibilidade objetivam o aprofundamento sobre a problemática do ruído aeroportuário no entorno dos aeroportos: **Guarulhos, Congonhas, Recife, Salvador Galeão e Brasília**, este ultimo devido ao potencial de reclamações da população residente em seu entorno.

Estes aeroportos foram identificados no estudo prévio para classificação de 17 aeroportos administrados pela INFRAERO quanto ao impacto ambiental sonoro, dentre os mais impactantes quanto ao ruído aeroportuário.

Os Estudos de Sensibilidade estão sendo elaborados em duas etapas: Parte 1 – Modelagem não linear; e Parte 2 – Modelagem linear.

A primeira etapa consiste no estudo de parâmetros aeroportuários relacionados com a operação das aeronaves Cap.2 (mais ruidosos) e Cap.3 (menos ruidosos) [2] [3] (número de movimentos nos períodos diurno e noturno). São estudadas 10 situações operacionais distintas, agrupadas quanto a conservação e a modificação da frota.

Para cada situação são elaboradas curvas de ruído para  $L_{DN} = 55\text{dB(A)}$ ,  $65\text{dB(A)}$  e  $75\text{dB(A)}$ , calculadas suas respectivas áreas e os percentuais de redução em relação à situação inicial.

A segunda etapa dos estudos de sensibilidade objetiva a determinação dos coeficientes de sensibilidade relativa de  $\Phi$  (inicialmente área da curva de ruído) aos parâmetros aeroportuários  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  (relacionados ao número de movimentos de aeronaves Cap. 3 operando no turno diurno, aeronaves Cap. 3 operando no turno noturno, aeronaves Cap. 2 operando no turno diurno e aeronaves Cap. 2 operando no turno noturno, para cada um dos aeroportos. Isto permite comparar a variação da área da curva de ruído (especialmente  $L_{DN}=65\text{dB(A)}$ ), num mesmo aeroporto, resultante da modificação destes parâmetros aeroportuários.

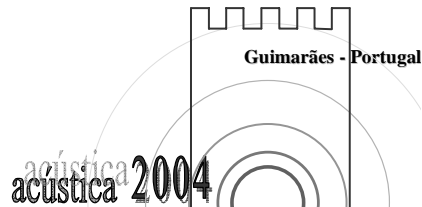
A seguinte equação (3), relacionando o logaritmo da área de curva de ruído ao logaritmo dos parâmetros aeroportuários, é utilizada para avaliar a importância de cada parâmetro na sensibilidade das curvas de ruído:

$$\text{Log}_e \Phi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots, x_n) = S_{x_1}^\phi \text{Log}_e x_1 + S_{x_2}^\phi \text{Log}_e x_2 + S_{x_3}^\phi \text{Log}_e x_3 + S_{x_4}^\phi \text{Log}_e x_4 + K \quad (3)$$

Sendo que  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  se referem 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 nos estudos.

Num segundo momento, propõe-se a determinação de um outro coeficiente que representa a variação relativa de cada parâmetro, individualmente, para que se obtenha um variação de 17% da área da curva  $L_{DN}= 65\text{dB(A)}$ , que corresponde, de acordo com o *Area Equivalent Method*, a uma variação de 1,5 dB(A) nos níveis de ruído dentro do contorno da curva.

Este critério, associado ao método citado, é usado internacionalmente 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.

No presente estudo, adotamos 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.

#### 4. PROJETOS FUTUROS

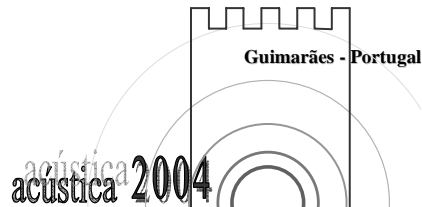
Tendo em vista a última recomendação da ICAO – *International Civil Aviation Organization* – que dispõe sobre a adoção da *abordagem equilibrada (Balanced Approach)* no controle de ruído aeroportuário, considera-se a necessidade de introduzir essa metodologia em futuros estudos, adequando-se à realidade brasileira e sul-americana.

Neste caso, deve-se levar em consideração o aspecto do nível de desenvolvimento dos países sul-americanos, que configura uma realidade diferenciada dos países de Primeiro Mundo.

Segundo a diretiva 2002/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de março de 2002, que estabelece regras e procedimentos para introdução de restrições de operação relacionadas com o ruído nos aeroportos comunitários, o desenvolvimento sustentável deve ser parâmetro para qualquer política de transportes. Quanto à atividade aeroportuária, o ruído é considerado como um dos principais problemas a serem solucionados para que o desenvolvimento sustentável seja possibilitado. Para o controle do ruído aeroportuário, a *abordagem equilibrada* traz uma perspectiva de maior eficiência e melhor adequação das soluções, visto que a complexidade dos aspectos que envolvem a questão é considerada de forma integrada.

Neste sentido, “a 33ª Assembleia da ICAO adotou a resolução A33/7 que define o conceito de *abordagem equilibrada da gestão do ruído, estabelecendo assim um método aplicado ao problema das emissões sonoras de aeronaves, incluindo orientações internacionais para a introdução de restrições de operação específicas a cada aeroporto. O conceito da abordagem equilibrada da gestão das emissões sonoras das aeronaves inclui quatro elementos essenciais, e requer uma avaliação cuidadosa das diferentes opções para atenuar o ruído, incluindo a redução na fonte do ruído gerado por aeronaves, medidas de ordenamento e gestão de território, procedimentos operacionais de redução de ruído, e restrições de operação, sem prejuízo das obrigações jurídicas, acordos existentes, legislação em vigor e políticas aplicáveis na matéria*”.

No ano de 2004, o Grupo de Acústica Ambiental da COPPE estará atualizando o estudo de hierarquização e aprofundando os estudos de sensibilidade de acordo com a *abordagem equilibrada*. As questões relativas ao uso e ocupação do solo no entorno dos aeroportos serão objetivamente inseridas nos estudos, bem como uma perspectiva de análise dos aspectos relacionados com os avanços tecnológicos sobre a mitigação do ruído aeronáutico na fonte, além dos aspectos já abordados.



## 5. EQUIPE TÉCNICA

O Grupo de Acústica Ambiental da COPPE foi fundado e é coordenado pelo Prof. Doutor Jules Ghislain Slama – Professor Adjunto da COPPE, com participação dos técnicos: Rita de Cássia Cordeiro Nogueira – Arquiteta, Mestre em Arquitetura e Urbanismo e Doutoranda do Curso de Acústica Ambiental da COPPE; Ana Paula Gama – Arquiteta, Mestre em Conforto Ambiental na UFRJ; Téo Revoredo – Engenheiro Eletrônico, Mestrando em Engenharia Elétrica na COPPE; Cristiana Azevedo – Graduanda em Arquitetura e Urbanismo na UFRJ; Rafael Magina – Graduando em Engenharia Civil na UFRJ.

## REFERENCIAS

- [1] **Cox, E;** *The Fuzzy Systems Handbook: A practitioner's Guide to building, using and maintaining Fuzzy Systems*, **In AP Professional, London 1994.**
- [2] **ICAO;** *Convenção Internacional da Aviação Civil*, Anexo 16 parte 1.