

Grandezas Acústicas Relacionadas ao Ruído Aeronáutico – Análise de Trabalhos Realizados no Brasil e Proposta de Classificação Estendida

Barbosa, A.R.*; Paul, S.†

* Laboratório de Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, anallubarbosa@gmail.com

† Laboratório de Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, stephan.paul@eac.ufsm.br

Resumo

Neste artigo é apresentada uma revisão bibliográfica das grandezas acústicas relacionadas ao ruído aeronáutico e realizada uma análise de trabalhos sobre aeroportos brasileiros, quanto ao nível de descrição das medições de nível de pressão sonora contidas na metodologia. Tal análise abrange os parâmetros utilizados, grandezas acústicas e sistemas de medição adotados. Com a finalidade de facilitar a análise dos trabalhos realizados no Brasil desenvolveu-se, baseado na classificação das grandezas pela FAA, uma proposta de classificação estendida das grandezas utilizadas nestes trabalhos.

Palavras-chave: Grandezas acústicas, ruído aeronáutico, incômodo.

1. Introdução

Muitos dos aeroportos brasileiros encontram-se hoje, em áreas densamente urbanizadas e diante desta situação são cada vez mais evidentes as situações de conflito nas áreas próximas aos aeroportos e bases aéreas. Entre os fatores conflitantes tem-se o incômodo provocado pelo ruído gerado pelas aeronaves.

O ruído aeronáutico provém das operações de pouso, decolagem, taxiamento aéreo, teste de motores dos aviões e o ruído ocasionado pelos equipamentos em solo. O incômodo ao ruído pode ser definido como um sentimento de ressentimento, descontentamento, desconforto, insatisfação ou ofensa quando o ruído interfere nos pensamentos, sentimentos ou atividades reais [1].

O incômodo é um dos principais efeitos pesquisados em termos de consequências para populações expostas ao ruído. A sensibilidade ao ruído pode ser vista como um potencial modificador de previsão de reação ao ruído em alguns estudos, mas em outros afetam a reação individual ao ruído independente dos níveis de pressão sonora [1-2]. Devido à complexidade dos aspectos que causam e moderam o incômodo gerado por operações aeronáuticas, há uma dificuldade no desenvolvimento de procedimentos de medição, quantificação destes fatores e estimação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico. Qualquer procedimento de avaliação do incômodo envolve a quantificação dos fatores físicos, principalmente da energia sonora decorrente das operações aeronáuticas e presente no ambiente. Para quantificação deste aspecto têm sido desenvolvidas várias grandezas que buscam quantificar a energia sonora, e em alguns casos acrescentam informação

adicional sobre o incômodo causado.

Apesar da importância mundial de tratar o problema de incômodo devido ao ruído aeronáutico não há um procedimento padronizado em diversos países, o que dificulta em muito a comparação de diferentes estudos. E mesmo em termos nacionais frequentemente não há unanimidade sobre o procedimento a ser adotado para medir e quantificar o ruído aeronáutico. Tal indefinição, também é encontrada no Brasil, onde diversos estudos desenvolvidos nos últimos anos utilizaram diferentes procedimentos, dificultando assim, a comparação dos resultados destas pesquisas.

O incômodo através do ruído só pode ser definido subjetivamente, por isso os estudos comparativos são muitas vezes imprecisos devido aos problemas de comparação entre as escalas de aborrecimento que se utilizam de diferentes descritores verbais ou numéricos. Devido à dificuldade de quantificar o incômodo utiliza-se de grandezas energéticas que basicamente quantificam a energia sonora.

Neste artigo serão introduzidas as principais grandezas e a relação de uma grandeza com a outra em um esquema de classificação estendida proposta pela FAA [3]. Também serão analisados quatro trabalhos sobre aeroportos brasileiros e realizada uma comparação quanto à descrição das medições de nível de pressão sonora contidas na metodologia, os parâmetros utilizados, grandezas e sistemas de medição adotados.

2. Principais Grandezas Relacionadas ao Ruído Aeronáutico

As grandezas de caracterização do ruído aeronáutico são em sua grande maioria derivadas de uma média

energética dos diversos níveis de pressão sonora presentes num determinado intervalo de tempo. Sendo assim são grandezas físicas que buscam de certa forma quantificar o incômodo ocasionado pelo ruído aeronáutico, mesmo que este seja um fenômeno psicológico. A fim de fundamentar o trabalho serão introduzidos a seguir os conceitos básicos das grandezas consideradas neste trabalho e classificados em quatro grupos.

2.1 Níveis de Pressão Sonora Global

O nível de pressão sonora (NPS ou L), de forma geral, é uma grandeza psicoacústica logarítmica e que busca caracterizar a sensação subjetiva de volume sonoro a partir da grandeza física pressão sonora.

- O *A-Level* (LA) ou nível de pressão sonora ponderado em A é uma grandeza obtida a partir do nível de pressão sonora, aplicando-se uma correção para considerar que a sensação subjetiva de volume sonoro depende não apenas da pressão sonora, mas também da frequência do som. O nível de pressão sonora ponderado em A tornou-se, por questões históricas, a grandeza mais utilizada para quantificação da sensação de volume sonoro, e inapropriadamente também para a quantificação do incômodo sonoro. Ela também é utilizada na quantificação do ruído aeronáutico.

- O *Perceived Noise Level* (PNL) é uma grandeza logarítmica desenvolvido em 1959 por Kryter [4] para quantificar a perturbação ocasionada por aviões a jato. O PNL é baseado em curvas de igual *noisiness*, sendo que estas isolinhas de *noisiness* buscam uma abordagem similar à ideia das curvas isofônicas e utilizam a escala *noy*. Considerando as curvas de igual *noisiness* o PNL é calculado a partir do NPS em oitavas ou 1/3 de oitavas de bandas de frequência e usa a pseudo-unidade PNdB.

- O *Tone Corrected Perceived Noise Level* (PNLT) é uma grandeza logarítmica baseada no PNL incorporando uma correção para tons puros, característica eminente no ruído emitido por determinadas aeronaves a jato turbofan [5]. Com esta grandeza criaram-se vários problemas, dado que a percepção de tons dentro de ruídos de banda larga não é um aspecto trivial. Desta forma, a grandeza tem sido bastante criticada [6].

2.2 Grandezas de Energia Cumulativa de um Único Evento

As grandezas deste grupo buscam representar cada evento, independente da duração, por um único valor energético.

- O *Effective Perceived Noise Level* (EPNL ou EPNdB) é uma grandeza logarítmica que faz uso de correções para a presença de tons puros audíveis de

frequências diferentes e da duração do sobrevoo de aeronaves considerando todo o evento aeronáutico. Como a grandeza caracteriza um evento aeronáutico específico (tipo de aeronave e condições de operação) ela é utilizada exclusivamente para certificação de aeronaves pelos órgãos competentes, porém não possui valor para a quantificação do ruído aeronáutico causado em um determinado aeroporto, nem quando se assume que neste aeroporto operam apenas aeronaves do mesmo tipo.

- O *Sound Exposure Level* (SEL ou LAE), às vezes também chamado de *Single Event Exposure Level* (LAX), é uma grandeza que considera a duração e o NPS ponderado em A de um único evento e comprime esta energia sonora dentro de um segundo. Muitas vezes considera-se apenas a energia referente à NPS ponderados em A aproximadamente 10 dB menor que o valor máximo[5]. É importante considerar que existem discrepâncias nas definições do *Sound Exposure Level* em diferentes países ou para diferentes aplicações.

2.3 Grandezas de Exposição Cumulativa

As grandezas de exposição cumulativa são geralmente derivadas das grandezas de um único evento, mas buscam caracterizar a exposição ao ruído aeronáutico durante certo período de tempo e considera todas as aeronaves que operam no aeroporto, bem como as características operacionais do mesmo.

- O *Equivalent Sound [Pressure] Level* (Leq) é uma grandeza que não é específica para o problema do ruído aeronáutico, mas sim uma grandeza cumulativa para aplicações gerais. Ela pode ainda utilizar a ponderação A e tornar-se assim o *Equivalent A-weighted Sound [Pressure] Level* ($LAeq$). É determinado através da integração da energia sonora de todos os eventos sonoros durante um determinado período, fornecendo assim, um valor médio (equivalente) para a energia sonora presente no intervalo de tempo considerado. O intervalo de tempo pode ser a princípio, escolhido de forma arbitrária. Para fins da avaliação de ruído aeronáutico utiliza-se frequentemente um intervalo de tempo representativo para a noite e outro para o dia, obtendo-se um valor energético representativo para todo o período noturno e um valor energético representativo para todo o período diurno. Entretanto, esse procedimento esconde de certa forma contribuições energéticas de eventos isolados, como as operações aeronáuticas em aeroportos de pequeno e médio porte, onde pousos e decolagens são menos frequentes.

- O *Day-Night Level* (DNL ou Ldn) como grandeza logarítmica foi desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* – EPA para avaliação do ruído em comunidades [7] e está baseado no $LAeq$. Na computação adiciona 10 dB aos NPS no período

professores. As medições de NPS revelaram um impacto acentuado da passagem dos aviões. O NPS máximo registrado foi de 112 dB(A), ocasionado pela passagem dos aviões da Força Aérea Brasileira. As escolas analisadas estão localizadas em áreas silenciosas, onde o impacto do ruído das aeronaves é maior do que estivessem em áreas com ruído de fundo maior. Foram encontradas diferenças de até 60 dB(A) entre o ruído de fundo, LA90 e o LAmáx.

b) Nabinger [10] apresenta dados das medições dos NPS realizadas dentro da Área II do Plano de Zoneamento de Ruído – PEZR, do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre – RS constatando a ocorrência de um evento sonoro a cada 12 minutos (média do período diurno) resultando em uma perturbação significativa da vizinhança do aeroporto.

c) Carvalho [11] avalia o incômodo provocado pelo ruído aeronáutico em comunidades residentes próximas ao Aeroporto Internacional de Brasília (AIB). Para isto,

foi adaptado ao contexto brasileiro o questionário desenvolvido pela Eurocontrol (*European Organisation for the Safety of Air Navigation*) e aplicado na comunidade, juntamente com medições dos NPS na área exposta ao ruído aeronáutico.

d) Souza [12] avalia o impacto do ruído emitido por operações de aeronaves do aeroporto de Jundiaí – SP e em áreas vizinhas. Neste trabalho não foi possível obter-se conclusões definitivas, devido à pequena movimentação de aeronaves, especialmente das de maior emissão de energia sonora.

De forma geral, a falta de descrição dos parâmetros utilizados durante as medições implica na falta de informações para outros autores que buscam esses trabalhos como bibliografia para futuras medições. São informações como: faixa dinâmica, o tempo de integração e a altura do microfone constatado nos trabalhos de Carvalho [11] e Souza [12].

Tabela 1: Comparação dos dados descritos na metodologia dos trabalhos relacionados ao ruído aeronáutico

Aeroporto	Aeroporto Internacional Salgado Filho	Aeroporto Internacional Salgado Filho	Aeroporto Internacional de Brasília	Aeroporto Comandante Rolim
Cidade/ estado	Porto Alegre - RS	Porto Alegre - RS	Brasília - DF	Jundiaí - SP
Autor (ano)	Nunes (2005)	Nabinger (2005)	Carvalho (2008)	Souza (2007)
Turno das medições	diurno e noturno	diurno	diurno e noturno	diurno
Faixa dinâmica	60 a 120 dB	40 a 120 dB	-----	-----
Tempo de integração	<i>slow</i>	<i>fast</i>	-----	-----
Altura do microfone	1,2 m sobre o chão	16 m (no alto de um prédio)	-----	-----
Grandezas selecionadas no medidor de NPS	LAeq (1s)	Leq	Leq	LAeq (10 min)
	L max	LAeq	L max	LA max
	L10 e L90	LA max	L min	LA min
		LA min	SEL	L10, L50, L90
Grandezas derivadas	CNEL	SEL dB(A)	IPR	LA max
	DNL			EPNL
	NEF			
	WECPNL			

■ Nível de pressão sonora global

■ Grandezas cumulativas de um único evento

■ Grandezas de exposição acumulativa

Considera-se também, em relação às grandezas, que em todos os trabalhos analisados não há uma padronização destas. Isto ocorre devido ao grande número de grandezas existentes e o seu grau de dificuldade em compreendê-las e aplicá-las. Observa-se que há uma discrepância entre as grandezas utilizadas pelos autores, nos procedimentos adotados para avaliação do nível de ruído percebido em cada sobrevoo, bem como o seu uso. O LAeq foi utilizado por todos os autores. Nunes [9] utilizou mais grandezas para avaliação do incômodo, Carvalho [11] fez uso do Índice Ponderado de Ruído (IPR), calculado a partir dos dados operacionais do aeródromo e das aeronaves e Souza [12], optou pelo cálculo do EPNL e da comparação do LAmáx com o

Níveis de Critério de Avaliação (NCA) determinado pela NBR10151 [15].

4. Considerações Finais

Os trabalhos analisados, além de suas contribuições para a questão da averiguação da exposição ao ruído aeronáutico nos aeroportos brasileiros, também evidenciam a necessidade de melhor entendimento das grandezas utilizadas para quantificação do ruído aeronáutico e de padronização de sua utilização, a fim de possibilitar comparações entre os estudos. Além disso, é indispensável que em futuros trabalhos relacionados à avaliação do ruído de aeronaves, sejam descritos de forma minuciosa os procedimentos de

professores. As medições de NPS revelaram um impacto acentuado da passagem dos aviões. O NPS máximo registrado foi de 112 dB(A), ocasionado pela passagem dos aviões da Força Aérea Brasileira. As escolas analisadas estão localizadas em áreas silenciosas, onde o impacto do ruído das aeronaves é maior do que estivessem em áreas com ruído de fundo maior. Foram encontradas diferenças de até 60 dB(A) entre o ruído de fundo, LA90 e o LAmáx.

b) Nabinger [10] apresenta dados das medições dos NPS realizadas dentro da Área II do Plano de Zoneamento de Ruído – PEZR, do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre – RS constatando a ocorrência de um evento sonoro a cada 12 minutos (média do período diurno) resultando em uma perturbação significativa da vizinhança do aeroporto.

c) Carvalho [11] avalia o incômodo provocado pelo ruído aeronáutico em comunidades residentes próximas ao Aeroporto Internacional de Brasília (AIB). Para isto,

foi adaptado ao contexto brasileiro o questionário desenvolvido pela Eurocontrol (*European Organisation for the Safety of Air Navigation*) e aplicado na comunidade, juntamente com medições dos NPS na área exposta ao ruído aeronáutico.

d) Souza [12] avalia o impacto do ruído emitido por operações de aeronaves do aeroporto de Jundiaí – SP e em áreas vizinhas. Neste trabalho não foi possível obter-se conclusões definitivas, devido à pequena movimentação de aeronaves, especialmente das de maior emissão de energia sonora.

De forma geral, a falta de descrição dos parâmetros utilizados durante as medições implica na falta de informações para outros autores que buscam esses trabalhos como bibliografia para futuras medições. São informações como: faixa dinâmica, o tempo de integração e a altura do microfone constatado nos trabalhos de Carvalho [11] e Souza [12].

Tabela 1: Comparação dos dados descritos na metodologia dos trabalhos relacionados ao ruído aeronáutico

Aeroporto	Aeroporto Internacional Salgado Filho	Aeroporto Internacional Salgado Filho	Aeroporto Internacional de Brasília	Aeroporto Comandante Rolim
Cidade/ estado	Porto Alegre - RS	Porto Alegre - RS	Brasília - DF	Jundiaí - SP
Autor (ano)	Nunes (2005)	Nabinger (2005)	Carvalho (2008)	Souza (2007)
Turno das medições	diurno e noturno	diurno	diurno e noturno	diurno
Faixa dinâmica	60 a 120 dB	40 a 120 dB	-----	-----
Tempo de integração	<i>slow</i>	<i>fast</i>	-----	-----
Altura do microfone	1,2 m sobre o chão	16 m (no alto de um prédio)	-----	-----
Grandezas selecionadas no medidor de NPS	LAeq (1s)	Leq	Leq	LAeq (10 min)
	L max	LAeq	L max	LA max
	L10 e L90	LA max	L min	LA min
		LA min	SEL	L10, L50, L90
Grandezas derivadas	CNEL	SEL dB(A)	IPR	LA max
	DNL			EPNL
	NEF			
	WECPNL			

■ Nível de pressão sonora global

■ Grandezas cumulativas de um único evento

■ Grandezas de exposição acumulativa

Considera-se também, em relação às grandezas, que em todos os trabalhos analisados não há uma padronização destas. Isto ocorre devido ao grande número de grandezas existentes e o seu grau de dificuldade em compreendê-las e aplicá-las. Observa-se que há uma discrepância entre as grandezas utilizadas pelos autores, nos procedimentos adotados para avaliação do nível de ruído percebido em cada sobrevoo, bem como o seu uso. O LAeq foi utilizado por todos os autores. Nunes [9] utilizou mais grandezas para avaliação do incômodo, Carvalho [11] fez uso do Índice Ponderado de Ruído (IPR), calculado a partir dos dados operacionais do aeródromo e das aeronaves e Souza [12], optou pelo cálculo do EPNL e da comparação do LAmáx com o

Níveis de Critério de Avaliação (NCA) determinado pela NBR10151 [15].

4. Considerações Finais

Os trabalhos analisados, além de suas contribuições para a questão da averiguação da exposição ao ruído aeronáutico nos aeroportos brasileiros, também evidenciam a necessidade de melhor entendimento das grandezas utilizadas para quantificação do ruído aeronáutico e de padronização de sua utilização, a fim de possibilitar comparações entre os estudos. Além disso, é indispensável que em futuros trabalhos relacionados à avaliação do ruído de aeronaves, sejam descritos de forma minuciosa os procedimentos de

coleta e o tratamento dos dados, para que estes possam servir de referência para outros trabalhos. A classificação das grandezas propostas neste trabalho, baseadas na classificação da FAA, pode servir como base para uma discussão da padronização dos procedimentos de avaliação do ruído aeronáutico.

Referências

- [1] Passchier-Vermeer, W.; Passchier, W.F. Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*, v.108, n. S1, p. 123–131, Mar. 2000.
- [2] Berglund, B.; Lindvall, T. Community Noise. *Archives of the Centre for Sensory Research, Stockholm University and Karolinska Institute (Prepared for World Health Organization)*, v. 2, n. 1, 1995.
- [3] Federal Aviation Administration Aviation Noise Effects.(FAA) Disponível em:
<http://www.nonoise.org>. Acesso em jul. de 2011.
- [4] Kryter, K. Scaling human reactions to the sound from aircraft, *Journal of the Acoustical Society of America*, v.31, n.2, 1959, p. 1415-1429.
- [5] Bennett, R. L.; Pearsons, K. S. Handbook of aircraft noise metrics. AA (Bolt, Beranek, and Newman, Inc., Canoga Park, CA.), AB(Bolt, Beranek, and Newman, Inc., Canoga Park, CA.). Final Report Bolt, Beranek, and Newman, Inc., Canoga Park, CA, 1981.
- [6] Smith, M. J. T. Aircraft Noise. Cambridge University Press, Dec. 2004.
- [7] Schomer, P. The importance of proper integration of and emphasis on the low- frequency sound energies for environmental noise assessment. *Noise Control Engineering Journal*, 52(1):26-39, Jan/Feb 2004.
- [8] Schultz, T. J. Community Noise Rating. Applied Science Publishers, 1982.
- [9] Nunes, M. F. O. Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas: Aeroporto Internacional Salgado Filho. 2005. 289 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- [10] Nabinger, L. B. Medições de ruído aeronáutico dentro da área II do plano específico de zoneamento de ruído do Aeroporto Salgado Filho. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- [11] Souza, J. A. A. Impacto de ruído de aeroportos em áreas vizinhas: estudo preliminar do Aeroporto Comandante Rolim em Jundiá. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) - Área de Gestão Ambiental, São Paulo, 2007.
- [12] Carvalho, E. B. J. Ruído ambiental e seus efeitos: o ruído aeronáutico no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. 2008. 150 f. Dissertação (Mestrado da Universidade Católica de Brasília) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2008.
- [13] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 11415 / TB 389. Ruído aeronáutico. Rio de Janeiro. 1990.
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12859. Avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas. Rio de Janeiro. 1993.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10151. Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro. 1987.