

CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DA MÉTRICA DNL EM ZONEAMENTO AEROPORTUÁRIO

Tarcilene Aparecida Heleno

Jules Ghislain Slama

Universidade Federal do Rio de Janeiro - LAVI/ COPPE

RESUMO

A poluição sonora decorrente do tráfego aéreo apresenta-se como um dos principais geradores de conflitos entre aeroportos e a população adjacente aos aeroportos. A métrica utilizada para o zoneamento aeroportuário em muitos países e no Brasil é o DNL (Day Night Sound Level). Esta métrica está associada à média da energia sonora produzida por todos os eventos aeronáuticos durante um período de 24h com ponderação de 10dB(A) durante o período noturno. No entanto o uso do DNL para o zoneamento aeroportuário pode conduzir em aeroportos distintos à diferentes resultados para os níveis sonoros, diurnos e noturnos, dependendo do número de operações de cada aeroporto no período diurno e noturno. O trabalho propõe uma análise da condição DNL = 65dB(A) para o zoneamento aeroportuário e a influência da distribuição dia e noite da movimentação de aeronaves no aeroporto de Congonhas e aeroporto de Recife sobre os níveis sonoros diurnos e noturnos. A partir desta análise é apresentada uma nova proposta de zoneamento de ruído aeroportuário baseada numa condição lógica, onde são considerados os níveis diurnos e noturnos.

ABSTRACT

Noise pollution arising from air traffic is one of the main generators of conflicts between airports and their adjacent population. The metric used for the airport zoning in many countries and in Brazil is the DNL (Day Night Sound Level). This metric is associated to the average sound energy produced by all aeronautical events during a period of 24 h with weighting 10dB(A) during the night. However, the use of DNL for airport zoning can lead to different results for noise levels, daytime and nighttime, depending on the number of airport operations in daytime and nighttime period. The paper proposes an analysis of DNL = 65dB(A) to the airport zoning and its influence of day and night distribution of aircraft movements in the Airport of Congonhas and in the Airport of Recife in daytime and nighttime noise level. From this analysis is presented a new proposal of airport zoning noise based on a logical condition in which daytime and nighttime levels are considered.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora decorrente do tráfego aéreo apresenta-se atualmente como um dos principais geradores de conflitos entre os aeroportos e a população residente em seus arredores na maioria das grandes cidades do mundo.

A implantação do aeroporto em grandes áreas urbanas induz o desenvolvimento, e quando implantado traz muitos benefícios para a população, mas também impõe algumas restrições quanto ao uso do solo nas proximidades do aeroporto, que nem sempre são respeitadas provocando grandes impactos para a qualidade de vida da população local.

A resolução A33-7 da ICAO de 2001 propõe políticas e práticas para a proteção ambiental baseadas nas noções do *Balanced Approach* (Abordagem Equilibrada) de aeronaves para controlar o ruído ao redor do aeroporto. São propostas quatro linhas gerais de atuação: controle de ruído na fonte (motor, aerodinâmica); gestão do uso do solo; procedimento operacional; e restrição de operação.

Neste trabalho, o objeto de estudo está relacionado com a gestão e uso do solo no entorno dos aeroportos. A gestão adequada do solo no entorno dos aeroportos passa, invariavelmente, pela incorporação dos planos aeroportuários ao zoneamento urbano dos municípios, o que depende

das autoridades municipais. Portanto o planejamento e gestão do uso do solo no entorno dos aeroportos está atrelado ao zoneamento aeroportuário.

Devido à importância de um planejamento e gestão do uso e ocupação do solo nas regiões próximas do aeroporto, os objetivos deste trabalho são: avaliar o uso da condição $DNL > 65\text{dB(A)}$ para o zoneamento aeroportuário como condição de proibição do uso residencial e a influência desta condição em diferentes aeroportos sobre os níveis sonoros diurnos e noturnos.

2. ZONEAMENTO AEROPORTUÁRIO E A MÉTRICA DNL

A Portaria 1141/GM5 (BRASIL, 1987) capítulo XII estabelece o Plano de Zoneamento de Proteção do aeroporto e o Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), ambos relacionados à gestão e uso do solo nas regiões adjacentes ao aeroporto. As restrições com relação à poluição sonora gerada pela operação das aeronaves são estabelecidas pelo Plano de Zoneamento de Ruído, com o objetivo de controlar o uso e ocupação do solo nos arredores do aeroporto, onde os níveis sonoros são bem altos.

O plano de zoneamento de ruído define duas curvas de ruído $DNL = 75\text{dB(A)}$ e $DNL = 65\text{dB(A)}$ que delimitam três áreas de restrições ao uso do solo. Na área I, $DNL > 75\text{dB(A)}$, são permitidos apenas a implantação, o uso e o desenvolvimento das seguintes atividades: produção e extração de recursos naturais, serviços públicos ou de utilidade pública (estação de tratamento de esgoto, reservatório de água ou cemitérios), comercial, recreação e lazer ao ar livre, transporte e indústrias. Na área II, $65\text{dB(A)} < DNL < 75\text{dB(A)}$, são proibidos o uso residencial, educacional, serviços públicos ou de utilização pública (hotel, motel, edificações para atividades religiosas, centros comunitários e profissionalizantes) e cultural (biblioteca, auditório, cinema e teatro). Na área III, $DNL < 65\text{dB(A)}$, não há nenhuma restrição de uso residencial.

A métrica DNL (Day Night Sound Level) é utilizada no Brasil e em vários outros países para definir o zoneamento aeroportuário. Esta métrica está relacionada com a média de energia sonora produzida por todos os eventos aeronáuticos ocorridos durante um período de 24 horas. Para os níveis sonoros que ocorrem durante o período noturno (compreendido entre às 22h e 7h do dia seguinte) é acrescentado de 10dB(A) devido à maior sensibilidade ao incômodo causado pelo ruído neste período.

A utilização desta métrica para o zoneamento aeroportuário é inspirada no trabalho de Schultz [1978] que estudou a relação entre o DNL e a percentagem de pessoas altamente incomodadas, revisto posteriormente por Fidell et al. [1988].

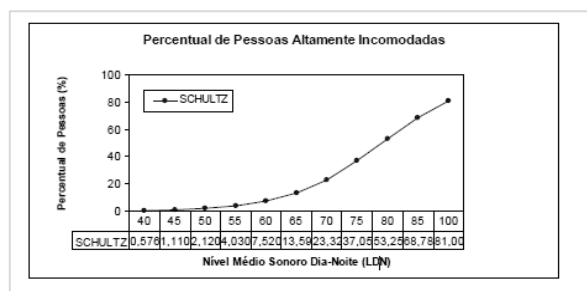


Figura 1: Relação de pessoas altamente incomodadas e o DNL. Fonte: Schultz 1978.

3. RELAÇÃO ENTRE *DNL* E *LAeqD* E *LAeqN*

O *DNL*, o *LAeqD* e o *LAeqN* num determinado ponto próximo ao aeroporto (x, y, z) podem ser expressos em função do nível sonoro instantâneo $L_A(t)$ no mesmo ponto como nas equações 1, 2 e 3.

$$DNL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 24} \left[\int_7^{22} 10^{\frac{LA(t)}{10}} dt + \int_{22}^7 10^{\frac{LA(t)+10}{10}} dt \right] \right\} \quad (1)$$

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

$$LAeqN = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 9} \left[\int_{22}^7 10^{\frac{LA(t)}{10}} dt \right] \right\} \quad (3)$$

Em que $L_{A(t)}$: é o nível de pressão sonora instantânea ponderada em A;

$LAeqD$: é a média de energia sonora compreendido durante o período diurno; pode ser utilizado para avaliar os efeitos adversos diurnos do ruído.

$LAeqN$: é a média de energia sonora compreendido durante o período noturno; pode ser utilizado para avaliar os efeitos adversos noturnos do ruído.

A métrica *DNL* também pode ser escrita em função das métricas *LAeqD* e *LAeqN* respectivamente, como mostra a equação 4:

$$DNL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(15 \times 10^{\frac{LAeqD}{10}} + 9 \times 10^{\frac{LAeqN}{10}} \right) \right] \quad (4)$$

Assim, uma vez que o *LAeqD* e *LAeqN* são conhecidos, é possível calcular o nível sonoro equivalente em *DNL*. A recíproca não é verdadeira para um nível *DNL* determinado existe uma infinidade de pares *LAeqD* e *LAeqN*. Precisa-se de mais um parâmetro para ter uma correspondência biunívoca.

4. AMPLITUDE ACÚSTICA

A amplitude acústica (Δ) num determinado ponto é a diferença entre os níveis sonoros diurnos e noturnos, definida na equação 5, desta forma tem-se uma nova relação entre *DNL*, *LAeqD*, *LAeqN* e Δ .

$$LAeqD - LAeqN = \Delta \quad (5)$$

As métricas *LAeqD* e *LAeqN* podem ser escritas em função do *DNL* e do Δ , como nas equações abaixo:

$$LAeqD = DNL - 10 \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(15 + 9 \times 10^{\frac{-\Delta}{10}} \right) \right] \quad (6)$$

$$LAeqN = DNL - 10 \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(15 \times 10^{\frac{\Delta}{10}} + 9 \right) \right] \quad (7)$$

Os valores de *DNL*, *LAeqD*, *LAeqN* e Δ variam em função do ponto no entorno do aeroporto.

5. DETERMINAÇÃO DO VALOR DE Δ .

Foi inserida uma malha de pontos, como mostra a figura 2, sobre as curvas de ruído nas métricas *LAeqD* e *LAeqN*. Para determinar o valor do Δ utilizou-se alguns destes pontos da malha inserida no entorno de dois aeroportos brasileiros com movimentação diurna e noturna bem diferente: o aeroporto de Recife e de Congonhas. Em cada ponto obteve-se o valor do nível sonoro, a fim de avaliar a influência da amplitude acústica nos aeroportos, logo se conclui que o Δ depende da localização de cada ponto. Para pontos próximos às rotas do aeroporto a variação entre *LAeqD* e *LAeqN* é maior. O Δ foi calculado como um valor médio das diferenças.

Para o aeroporto de Congonhas, a amplitude acústica média é igual a 10,6 enquanto para o aeroporto de Recife obteve-se o valor 0,5. Os valores encontrados são bem discrepantes, o que significa que a movimentação do aeroporto durante o período noturno é um fator importante para avaliar o incômodo.

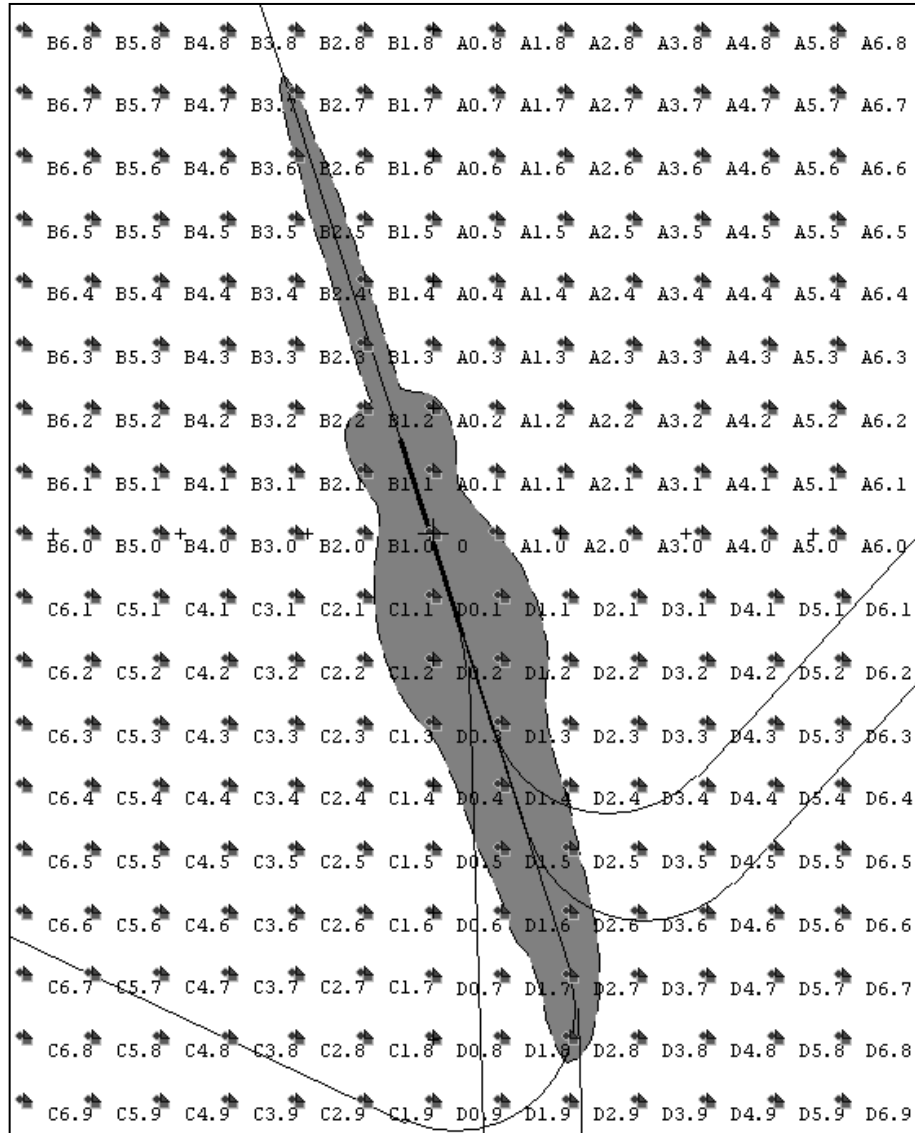


Figura 2: Malha de pontos sobre o aeroporto de Recife.

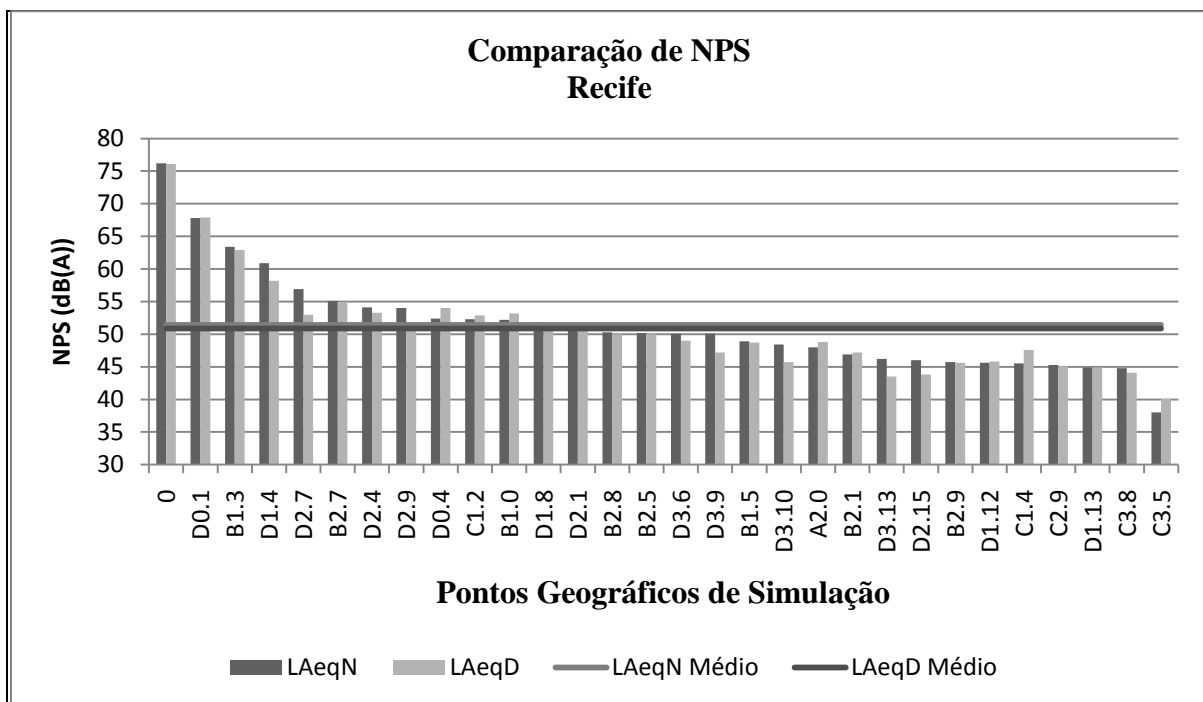


Figura 3: Níveis sonoros simulados nas métricas *LAeqD* e *LAeqN* para o Aeroporto de Recife.

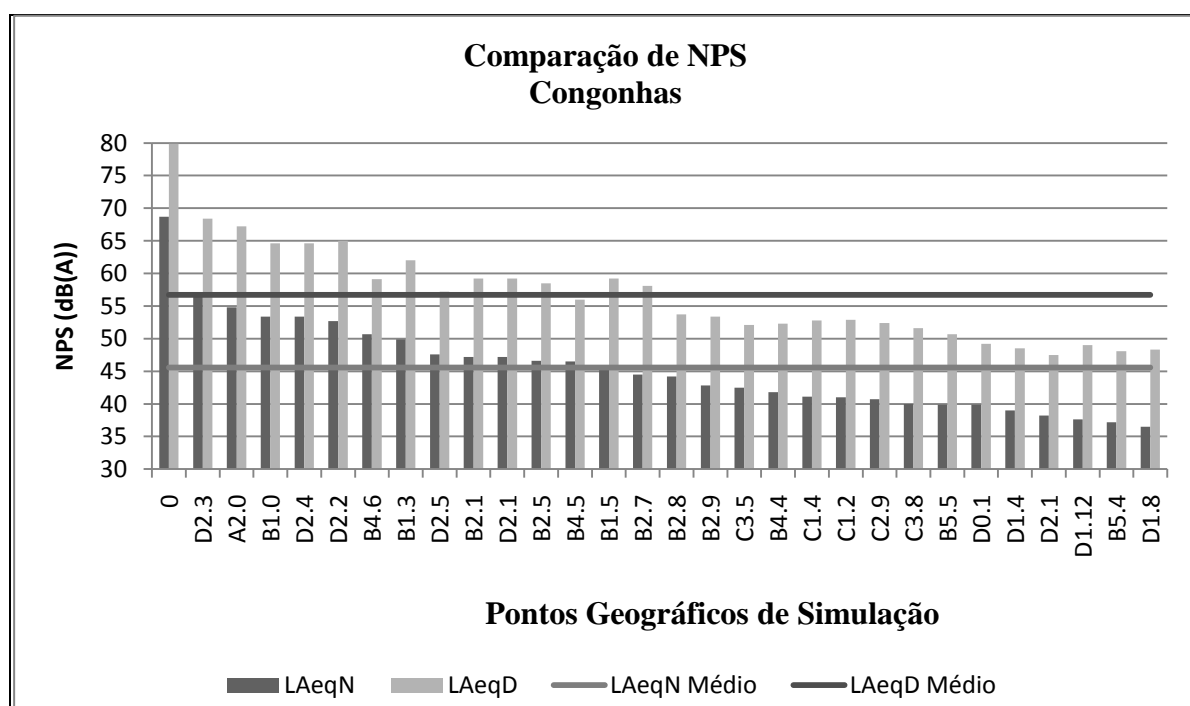


Figura 4: Níveis sonoros simulados nas métricas *LAeqD* e *LAeqN* para o Aeroporto de Congonhas.

6. COMPARAÇÃO ENTRE A CONDIÇÃO $DNL \leq 65$ E A CONDIÇÃO LÓGICA ($L_{AeqD} \leq 65$ AND $L_{AeqN} \leq 55$)

A partir da equação 4 obtém-se o DNL em função de alguns valores para L_{AeqD} e L_{AeqN} . A tabela 1 representa níveis sonoros em DNL , uma vez que L_{AeqD} e L_{AeqN} são dados. No entanto as condições que nos interessam neste estudo são:

$$DNL \leq 65$$

$$\{L_{AeqD} \leq 65 \text{ AND } L_{AeqN} \leq 55\}$$

A segunda condição lógica foi considerada como equivalente a primeira, porém pode ser mais restritiva que a primeira. Ela pode ser escrita como o complementar da condição lógica complementar.

$$\overline{\{L_{AeqD} > 65 \text{ OR } L_{AeqN} > 55\}}$$

Cada uma dessas condições define uma área em torno do aeroporto e o contorno dessa área define uma curva de ruído.

Tabela 1: Níveis sonoros em DNL a partir de níveis sonoros nas métricas L_{AeqD} e L_{AeqN} com valor constante de amplitude acústica.

L_{AeqD} dB(A)	L_{AeqN} dB(A)	Δ	DNL dB(A)
55	50	5	57,7
60	55	5	62,7
60	50	10	60
65	55	10	65

No caso de $\Delta = 10$, o nível sonoro em DNL é sempre igual ao nível sonoro na métrica L_{AeqD} , devido a penalidade já aplicada a esta métrica.

Matematicamente a condição lógica $\{L_{AeqD} = 65\text{dB(A)} \text{ AND } L_{AeqN} = 55\text{dB(A)}\}$ implica $DNL = 65\text{dB(A)}$, porém a condição $DNL = 65\text{dB(A)}$ não implica à condição $\{L_{AeqD} = 65\text{dB(A)} \text{ AND } L_{AeqN} = 55\text{dB(A)}\}$. Logo, tem-se:

$$DNL \leq 65 \neq \{L_{AeqD} \leq 65 \text{ AND } L_{AeqN} \leq 55\}$$

Os resultados obtidos através de simulações de curvas de ruído para os aeroportos citados anteriormente mostram a influência do Δ sobre as áreas das curvas de ruído em cada aeroporto.

As figuras 5 e 6 representam as curvas resultantes das condições $\{L_{AeqD} \leq 65 \text{ AND } L_{AeqN} \leq 55\}$ e $DNL = 65\text{dB(A)}$ para os aeroportos de Congonhas e Recife. As curvas foram geradas pelo software INM (*Integrated Noise Model*) desenvolvido pela FAA (*Federal Aviation Administration – EUA*).

Observa-se que no caso do Aeroporto de Recife, a área $L_{AeqD} > 65\text{dB(A)}$ está contida na área $L_{AeqN} > 55\text{dB(A)}$. Sendo assim, para a condição $\{L_{AeqD} \leq 65 \text{ AND } L_{AeqN} \leq 55\}$ a curva resultante é a própria curva $L_{AeqN} = 55\text{dB(A)}$. Enquanto, no aeroporto de Congonhas,

a área $LAeqN > 55\text{dB(A)}$ está incluída na área $LAeqD > 65\text{dB(A)}$ e a curva resultante desta condição é $LAeqD = 65\text{dB(A)}$.

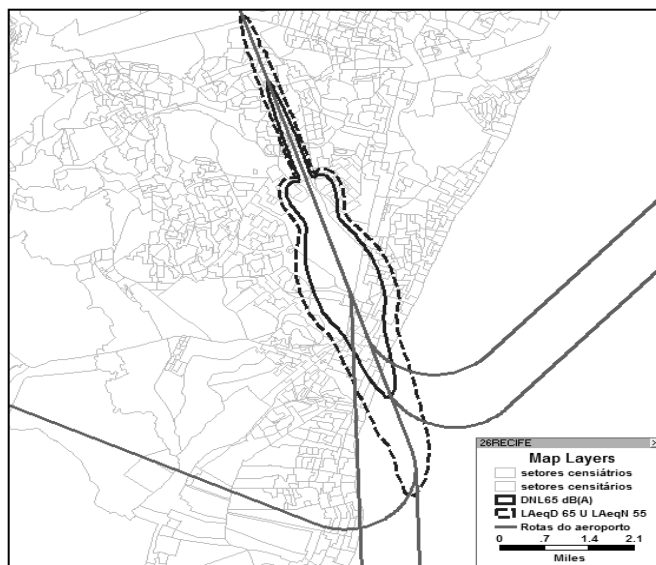


Figura 5: Aeroporto de Recife

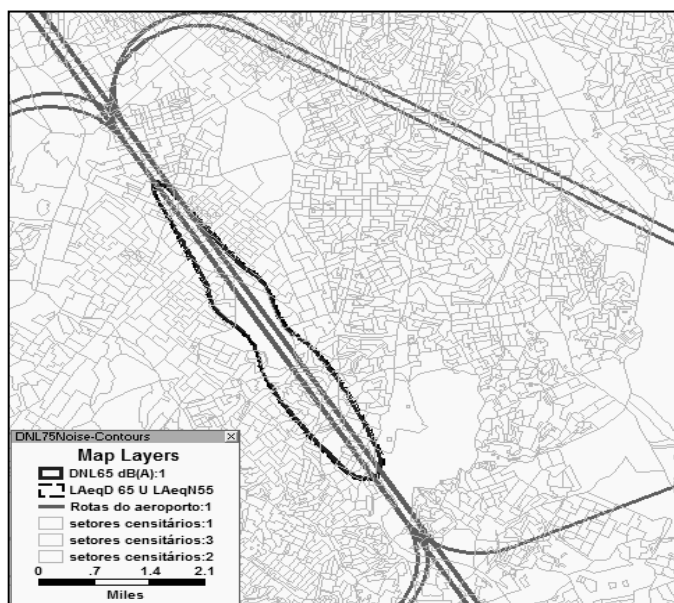


Figura 6: Aeroporto de Congonhas

As tabelas 2 e 3 indicam as áreas de contorno das curvas de ruído de 50, 55, 60 e 65dB(A) nas métricas $LAeqD$, $LAeqN$ e DNL para ambos os aeroportos. No caso do aeroporto de Congonhas a área das curvas, $LAeqD$ 65dB(A) e DNL 65dB(A) possuem aproximadamente o mesmo valor (por isso a sobreposição das curvas na figura 6), uma vez que a movimentação do aeroporto é relevante durante o período diurno. A curva $LAeqN$ 55dB(A) possui uma área menor devido a menor movimentação durante o período noturno neste aeroporto.

No caso do aeroporto de Recife a área das curvas $LAeqD$ 65dB(A) e DNL 65dB(A) são bem distintas, devido a maior movimentação noturna. A área da curva $LAeqN$ 55dB(A) é muito maior. Preferencialmente utilizam-se a rota à direita em relação à pista do aeroporto.

Tabela 2: Áreas de curva de ruído em km² no Aeroporto de Recife.

Nível de curva de ruído dB(A)	Área LAeqD	Área LAeqN	Área DNL
50	37, 640	38, 579	101, 815
55	14, 933	17, 435	47, 517
60	6, 509	6, 928	22, 006
65	2, 711	2, 853	8, 770

Tabela 3: Área de curva de ruído em km² no Aeroporto de Congonhas.

Nível de curva de ruído dB(A)	Área LAeqD	Área LAeqN	Área DNL
50	84, 132	14, 808	84, 251
55	36, 534	5, 647	36, 006
60	17, 185	1, 952	16, 389
65	7, 602	0, 778	6, 900

7. CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento deste trabalho pode-se concluir que o uso da métrica *DNL* não é apropriado para o zoneamento aeroportuário, e que a condição $DNL \leq 65$ não é equivalente a condição lógica $\{LAeqD \leq 65 \text{ AND } LAeqN \leq 55\}$. Estas duas condições levam a resultados diferentes dependendo da influência da amplitude acústica (Δ) de cada aeroporto. No caso do aeroporto de Recife, a adoção de $DNL = 65\text{dB(A)}$ conduz a valores de níveis de ruído noturnos muito elevados. E no caso de Congonhas os níveis diurnos são elevados. Sendo assim é importante que o zoneamento aeroportuário seja baseado nas exposições diurnas e noturnas. A movimentação do aeroporto durante o período diurno ou noturno é um fator importante para avaliar o incômodo causado pelo ruído aeroportuário.

8. AGRADECIMENTO

Ao CNPq e ao CAPES pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- ABNT (2000) *NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – Apresentação*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- BRASIL (1987) *Portaria 1.141/ GM5 de 8 dez. 1987 - Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Ruído* - Ministério da Aeronáutica.
- Fidell, S., Schultz, T. J., and Green, D. (1988) *A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations. Journal of Acoustical Society of America*, v. 84, pp. 2109–2113.
- Fidell, S, Barber, D.S. (1990) *Updating a dosage-effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. Journal of Acoustical Society of America*, v. 89, pp. 221-233.
- Revoredo, T., Slama, J.G. (2008) *Noise metrics comparison and its use on urban zoning in airport surveys: A Brazilian case study. Journal of Air Transport Management*, p. 304,
- Slama, J.G., Mora-Camino, F.A.C, and Revoredo, T. (2008) *T.C., Is DNL appropriate for airport noise zoning. Acoustics Paris*, p.1967-1971
- Schultz, T. J. (1978) *Synthesis of social surveys on noise annoyance. Journal of Acoustical Society of America*, v. 64, pp. 377–405.