



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS
APLICADAS – FATECS

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

IZABELA RODRIGUES PEREIRA LOPES
RENATA DA SILVA BOITRAGO

IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO NO PREÇO DE IMÓVEIS
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

BRASÍLIA
2017



IZABELA RODRIGUES PEREIRA LOPES
RENATA DA SILVA BOITRAGO

**IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO NO PREÇO DE IMÓVEIS
RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE BRÁLIA**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais aplicadas – FATECS

Orientação: Dr. Edson Benício de Carvalho Júnior

BRASÍLIA
2017

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por ter nos concedido saúde e força para superar as dificuldades.

Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao nosso orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste artigo.

À Instituição pelo ambiente criativo, amigável e preparado que proporciona.

IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO NO PREÇO DE IMÓVEIS RESIDENCIAIS: ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

Renata da Silva Boitrigo – UniCEUB, PIC Institucional, aluno bolsista

renata.boitrigo18@gmail.com

Izabela Rodrigues Pereira Lopes – UniCEUB, PIC institucional, aluno voluntário

izabela.rpl@gmail.com

Edson Benício de Carvalho Júnior – UniCEUB, professor orientador

Edson.carvalho@uniceub.br

1. RESUMO

O ruído aeronáutico é um dos principais problemas relacionados à atividade aeroportuária com efeitos adversos sobre a saúde e qualidade do sono em populações residentes próximos a aeródromos, uma outra externalidade devido ao ruído que atinge a comunidade é a depreciação no valor dos imóveis situados na região de influência da operação aeroportuária. No Brasil, poucas pesquisas são desenvolvidas com foco na avaliação dos efeitos do ruído aeronáutico no valor de imóveis. Desse modo, o presente trabalho possui por objetivo principal avaliar o efeito do ruído aeronáutico sobre o preço de imóveis residenciais em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. Essa avaliação foi determinada por meio do Método de Preços Hedônicos (HPM). Com uso do HPM foi determinado o Índice de Depreciação por Sensibilidade ao Ruído (NSDI). Esse índice indica as mudanças nos preços dos imóveis, devido à exposição ao ruído aeronáutico, para a região objeto de análise. Para a realização desse estudo, admitiu-se a existência de atributos relacionados ao preço do imóvel, características do imóvel, da cidade e ambientais. O banco de dados é composto por um total de 400 imóveis. A análise realizada foi pelo modelo log-linear para o preço do imóvel. O R^2 obtido foi 0,54, ou seja, 54% do total da variância da variável dependente é explicada pelas variáveis independentes. Realizou-se o teste de multicolinearidade e foi observado o parâmetro de significância das variáveis. Com base nos resultados da regressão realizada determinou-se uma redução de 1,9% per dB. Esse resultado é expressivo e alerta para os impactos negativos causados pelo ruído aeronáutico.

Palavras-Chave: Ruído aeronáutico. Método de Preços Hedônicos. Mapas de ruído.

2. SUMÁRIO

AGRADECIMENTO	3
1. RESUMO	4
3. INTRODUÇÃO	6
4. OBJETIVOS	8
4.1 OBJETIVO GERAL.....	8
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
5. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	8
6. METODOLOGIA	10
6.1 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO .	10
6.2 MODELO	12
7. RESULTADOS E DISCURSÕES.....	12
8. CONCLUSÃO	14
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
ANEXO 1: INDICADORES ACÚSTICOS.....	18
ANEXO 2: VARIÁVEIS INCLUÍDAS NO ESTUDO	20
ANEXO 3: MAPA DE RUÍDO DO SBBR E LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO PESQUISADA	21
ANEXO 4: MAPA DE RUÍDO DO SBBR E LOCALIZAÇÃO DOS IMÓVEIS PESQUISADOS	22
ANEXO 5: VALORES DE NSDI OBTIDOS EM OUTROS ESTUDOS	23

3. INTRODUÇÃO

Os aeroportos tornaram-se um componente vital da infraestrutura de transporte das cidades modernas, exercendo cada vez mais influência no zoneamento urbano (Stevens et al., 2010). Entretanto, aeroportos também são responsáveis por importantes externalidades ambientais destacando-se a perturbação por ruído e as emissões de poluentes que contribuem para o aquecimento global (CARBALLO-CRUZ, 2008). No Brasil, o Plano Nacional de Aviação Civil (PNAC) orienta a permanente busca pela redução dos impactos adversos provocados pelo ruído aeronáutico. Também destaca a importância de se aprimorar medidas que desestimulem a ocupação de áreas sujeitas a níveis significativos de emissão de ruídos aeroviários (BRASIL, 2009).

O ruído aeroviário provoca efeitos nocivos à saúde humana, tais como: incômodo, hipertensão, problemas cardíacos, psicológicos, emocionais, estresse e males associados a distúrbios no sono (BABISCH, 2002, JARUP et al., 2005; HARALABIDIS et al., 2008, BABISCH et al., 2009). Ressalta-se que os efeitos adversos sobre o sono tornaram-se uma das queixas mais comuns apontadas por populações expostas ao ruído na Europa (WHO, 2009).

A contaminação acústica gerada pela operação de aeronaves é uma das externalidades mais relevante e complexo problema ambiental afetando diretamente a qualidade de vida da população que reside no entorno dos aeroportos. O ruído aeronáutico também está diretamente relacionado ao desenvolvimento de conflitos entre os diversos atores (operadores, agentes públicos e comunidade) envolvidos em áreas de aeroportos (DE BARROS, 2013). Esses conflitos se devem principalmente ao incômodo sonoro induzido pelo ruído aeronáutico (FABUREL, 2005; CARVALHO JR et al., 2012). Muitos estudos comprovam que o ruído aeroviário afeta o valor de propriedades nas vizinhanças de um aeroporto tornando-se, assim, um problema de ordem social e econômica (FEITELSON et al., 1996; MORRELL e LU, 2000; NAVRUD, 2002; NELSON, 2004; BROOKER, 2006; DEKKERS e STRAATEN, 2009; PUCHELL e EVANGELINOS, 2012; MATOS et al., 2013).

Poucas pesquisas são desenvolvidas no Brasil com foco na avaliação dos efeitos do ruído, proveniente de fontes de transporte, no valor de imóveis (CARVALHO JR, 2015). Estudos mostram que o ruído aeronáutico possui um maior impacto no preço das habitações seguido pelo ruído do tráfego ferroviário e rodoviário (DEKKERS e STRAATEN, 2009; PUSCHEL e EVANGELINOS, 2012).

No Brasil, o ruído aeronáutico é avaliado por meio da métrica *Day-night Average Sound* (L_{DN}), que representa o nível de ruído em um período de 24 horas. Como parâmetro de comparação, a exposição a um nível de até 55 L_{DN} não incomoda criticamente mais que 3% da comunidade exposta e não é considerada um fator ambiental relevante. O ruído torna-se significativo acima de 65 L_{DN} , incomodando criticamente 12% de seus habitantes, e a partir de 75 L_{DN} a proporção aumenta pelo menos 37%, podendo causar redução na capacidade auditiva (ANAC, 2016).

Em 2014, o Grupo de Pesquisa em Acústica e Poluição Ambiental, proponente deste projeto, finalizou um estudo que avaliou os efeitos do ruído aeronáutico no valor de imóveis na região do lago sul vizinha ao Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR). O resultado obtido indicou uma redução de 1,3% por Db, ou seja, queda do valor imobiliário em 1,3% quando o ambiente apresenta um aumento de 1 (um) decibel devido ao ruído aeronáutico (CARVALHO Jr et al., 2014).

Desse modo, nesse trabalho avaliou-se o efeito do ruído aeronáutico sobre o preço de imóveis residenciais em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. Essa avaliação foi determinada por meio do Método de Preços Hedônicos (HPM).

O HPM assume que os preços refletem o efeito combinado de diferentes variáveis, tais como: tamanho da propriedade, número de quartos, localização, acesso a instalações comerciais, acesso a áreas verdes, parques e problemas ambientais (por exemplo: ruído a que cada propriedade está exposta, saneamento ambiental etc.). Os preços reais pagos para a habitação são relacionados com diferentes variáveis ambientais, e outras de interesse, e por meio de técnicas de regressão múltipla identifica-se os coeficientes para cada variável (BLANCO e FLINDELL, 2011). Destaca-se que o HPM baseado no comportamento do mercado de habitação, tem sido o mais utilizado na literatura para a valoração do ruído aeroportuário

(FEITELSON et al., 1996; BROOKER, 2006). CarballoCruz (2009) ainda ressalta que o HPM é especialmente apropriado para determinar a relação existente entre níveis de ruído e os preços observados no mercado de habitação, dado que o comportamento dos indivíduos nesse mercado acaba por revelar a sua disposição a pagar por suportar/não suportar determinados níveis de ruído.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do ruído aeronáutico sobre o preço de imóveis residenciais em diferentes curvas de ruído no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar curvas de ruído e mapas acústicos para a métrica acústica *DNL*;
- Elaborar banco de dados com os valores de imóveis de residências em cidades situadas nas diferentes curvas de ruído;
- Desenvolver modelo HPM (Método de Preços Hedônicos) por meio de regressão linear múltipla.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Kruitwagen *et al.* (2006) afirmam que há um preço a ser pago por paz e tranquilidade. O bem-estar de um indivíduo não é determinado apenas por sua renda, uma vez que ambientes de qualidade e conforto contribuem para o bem-estar, ou seja, tranquilidade e paz são qualidades importantes na busca de um lugar para morar. Entretanto, os valores de paz e tranquilidade não são frequentemente visíveis e não possuem valor de mercado. Porém, uma indicação do valor que as pessoas atribuem à paz e tranquilidade pode ser derivada dos preços de habitação.

Existem duas categorias de técnicas de avaliação econômica para estimar o valor de bens e serviços que não possuem valor de mercado: Preferência Declarada e Preferência Revelada. Os Métodos de Preferências Declaradas (SPM) são baseados em modelos matemáticos de tomada de decisão e na teoria de análise de escolha discreta. Estes métodos presumem que quando confrontadas com um conjunto de

opções, as pessoas são capazes de preferir uma das opções de acordo com suas utilidades (Tezcan, 2006).

Estudos de SP podem produzir estimativas estatisticamente consistentes e confiáveis de valores monetários percebidos, mas são inevitavelmente hipotéticas e podem não refletir o comportamento real. Apesar de estarem sendo cada vez mais usados, não são necessariamente mais confiáveis do que o HPM por causa de sua natureza hipotética (Blanco e Flindell, 2011).

Os Métodos de Preferências Reveladas, ou Métodos de Preços Hedônicos (HPM), são baseados nas escolhas atuais e decisões que já foram tomadas. Teoricamente, é possível determinar a melhor opção possível de acordo com o comportamento do consumidor e os valores das propriedades são derivados do comportamento real do mercado imobiliário (Tezcan, 2006).

Os preços reais pagos para a habitação são relacionados com diferentes variáveis ambientais, e outras de interesse, e por meio de técnicas de regressão múltipla identifica-se os coeficientes para cada variável (Blanco e Flindell, 2011). O termo “hedônico” é derivado do grego. Hedônico é o adjetivo para *hedonism*, “prazer”: refere-se a indivíduos querendo tomar decisões que proporcionem mais prazer (Brooker, 2006).

O HPM baseado no comportamento do mercado de habitação, tem sido o mais utilizado na literatura para a valoração do ruído aeroportuário (Feitelson *et al.*, 1996; Brooker 2006). Carballo-Cruz (2009) destaca que no HPM o preço de um imóvel é explicado por um conjunto de características próprias, entre as quais há alguns bens ambientais, incluindo o nível de intensidade sonora. Desse modo, o HPM torna-se especialmente apropriado para determinar a relação existente entre níveis de ruído e os preços observados no mercado de habitação, dado que o comportamento dos indivíduos nesse mercado acaba por revelar a sua disposição a pagar por suportar/não suportar determinados níveis de ruído.

Segundo Morrell e Lu (2000) o HPM pode ser expresso pela seguinte função: $P = f(S, N, Q)$. Essa é uma função simplificada onde P é o vetor de preço da

habitação, S denota o vetor características da localização, N características da vizinhança e Q características ambientais, como o ruído. O $\partial P / \partial Q_i$ é o coeficiente HP para a variável nível de ruído e descreve o preço marginal implícito do custo social do ruído (Morrelland Lu, 2000; Blanco e Flindell, 2011).

O *output* fundamental dos estudos baseados no HPM é o denominado Índice de Depreciação por Sensibilidade ao Ruído (NSDI – *Noise Sensitivity Depreciation Index*), que indica a mudança em termos percentuais nos preços dos imóveis, em resultado de uma variação de um decibel no nível de ruído (Carballo-Cruz, 2009). Segundo Blanco e Flindell (2011) o NSDI pode ser definido como:

$$\text{NSDI} = \frac{D}{\text{valor da propriedade}} \times 100 \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde D é a quantidade absoluta da depreciação da propriedade por decibel e é expresso por (Nelson, 2004):

$$D = \frac{\text{diferença no total da redução do ruído}}{\text{diferença no nível de exposição sonora em dB}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

6. METODOLOGIA

O método proposto foi sustentado em modelagens, com elaboração de mapas acústicos, elaboração de banco de dados com valores de imóveis em regiões no entorno do Aeroporto de Brasília e na geração de modelo de regressão com uso do Método de Preços Hedônicos (HPM).

6.1 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO

Para elaboração das curvas de ruído foi adotada a metodologia prevista no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC 161 (2013) – que recomenda a simulação de 5 (cinco) curvas (65, 70, 75, 80 e 85), na métrica DNL (definição no anexo 1) para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves nos últimos 3 (três) anos superior a 7.000 (sete mil), como é o caso do SBBR (sigla do Aeroporto de Brasília).

O RBAC 161 (2013) também estabelece que as curvas de ruído deverão ser calculadas por meio de programa (*software*) computacional que utilize metodologia matemática apropriada para a geração de curvas na métrica *DNL*, considerando como período noturno o período compreendido entre 22h e 7h do horário local. Após essas simulações, o *output* gerado foi exportado, para um *software* de Sistema de Informação Geográfica onde os mapas acústicos foram elaborados seguindo a metodologia descrita no RBAC 161 (2013). Para a simulação, vários dados de entradas foram considerados, entre eles: elevação, velocidade média anual do vento, temperatura média anual de referência etc. Esses dados foram obtidos em fontes oficiais do governo ou com a própria empresa operadora do SBBR. As curvas de ruído geradas representam a operação do SBBR para 2015 onde foram estimadas 202.000 operações anuais, de pousos e decolagens, e uma média de 553 movimentos diários.

Para a elaboração dos mapas de ruído não há apontamento na legislação brasileira de como conduzir, metodologicamente, a elaboração de mapas acústicos. Por isso, nesse estudo, foi adotada a metodologia indicada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). A APA segue as recomendações da Diretiva Europeia 2002/49/CE.

Os imóveis pesquisados foram identificados em sites das principais imobiliárias de Brasília no período de agosto a março de 2017. O banco de dados foi composto por 400 imóveis, dispersos na região no interior do limite $50 \leq DNL \leq 65$). Foram consideradas a existência de atributos relacionados ao preço e características do imóvel e da cidade. Também foi incluído um atributo de externalidade ambiental, ou seja, o nível de intensidade sonora expresso na métrica *DNL*. As variáveis são mostradas no anexo 2 e em características da cidade, a variável Saneamento Ambiental representa: coleta de resíduos sólidos, água potável, esgotamento sanitário e águas pluviais. A variável Área Verde representa: parques, lagos, jardins botânicos, jardins zoológicos, complexos recreativos e esportivos, e hípicas. Os dados relacionados às características das cidades serão obtidos da pesquisa censitária por domicílio (IBGE, 2010; PDAD/DF (2011)).

6.2 MODELO

Foi adotado nesse trabalho o HPM para análise dos dados onde os coeficientes obtidos, para uma equação de regressão padrão, refletem o impacto relativo sobre a variável dependente (logaritmo natural do preço do imóvel) causado pelas variáveis independentes separadamente. O modelo de regressão padrão utilizado é descrito por Uyeno *et al* (1993), Nelson (2004) e Blanco e Flindell (2011) e é expresso por:

$$\ln(P) = \alpha + \theta DNL + \sum_{i=1}^n \omega_i \ln \delta_i + \varepsilon \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde $\ln(P)$ é o logaritmo natural para o valor do imóvel (variável dependente), α a constante, o coeficiente para o ruído na métrica DNL, ω_i o i th coeficiente não associado ao ruído, δ_i o i th que pertence a todas as outras variáveis e ε é o termo de erro. O uso desse modelo de regressão permitiu uma melhor comparação com resultados obtidos em outros estudos. O NSDI foi calculado de acordo com as equações 1, 2 e 3, sendo que o coeficiente θ multiplicado por 100 indica a variação percentual do logaritmo natural do preço da propriedade associada a uma mudança, em decibels, no DNL.

7. RESULTADOS E DISCURSÕES

O anexo 3 mostra o local do sítio aeroportuário do SBBR e a localização da região escolhida para o estudo. Não se identificou residências no interior das curvas DNL 70, 75, 80 e 85 e a Tabela 1 mostra o número de casas pesquisadas inseridas no interior das diferentes curvas de ruído. Já a anexo 4 mostra os imóveis pesquisados distribuídos nas curvas de ruído.

Tabela 1: Distribuição das residências pesquisadas por curvas de ruído aeronáutico

Curva de ruído dB(A)	Número de residências
DNL 50	112
DNL 55	122
DNL 60	153
DNL 65	13

Especificou-se a função hedônica para a forma logarítmica. A análise realizada apresentou R^2 igual a 0,54 (R^2 ajustado = 0,28). Sendo assim, 54% do total da variância da variável dependente é explicada pelas variáveis independentes. Realizou-se o teste de multicolinearidade e foi observado o parâmetro de significância das variáveis, os resultados levaram a retirada de algumas variáveis permanecendo no modelo as que estão indicadas na Tabela 2. Essa tabela mostra os resultados obtidos para o modelo de regressão log-linear e pode-se fazer algumas considerações:

- a variável “área total” apresentou sinal positivo, o que era esperado já que existe uma relação direta entre o valor do imóvel e o tamanho das áreas dos imóveis;
- a “variável de vaga na garagem” também apresentou sinal positivo, já esperado, indicando que quando tem vagas disponíveis maior será o preço do imóvel;
- a variável “piscina” adotou sinal positivo, ou seja, se uma residência possui piscina o valor desse imóvel se valoriza em relação ao imóvel que não possui;
- a variável “nível de intensidade sonora (DNL)”, como esperado, adotou sinal negativo. Isto significa que o aumento do nível de ruído implica em uma redução no valor do imóvel, desde que as demais variáveis se mantenham constantes.

Tabela 2: Resultados do modelo HPM

Variável	Coeficiente	Erro padrão	Estatística t	Nível de significância (95%)
Constante	13.611	1.028	13.235	0.000
Área total (m ²)	0.001	0.000	8.909	0.000
Número de vagas de garagem	0.388	0.153	2.542	0.011
Piscina	0.600	0.097	6.202	0.000
Nível de intensidade sonora (DNL)	-0.019	0.009	2.000	0.046
$R^2 = 0.54 / R^2$ ajustado = 0.28				

De acordo com a Tabela 2, o valor determinado para o NSDI (queda do valor imobiliário quando o ambiente apresenta um aumento de um decibel advindo do ruído aeronáutico) foi de 1,9. Esse valor de 1,9% por dB encontra-se dentro do limite esperado, se comparado com os resultados de outros estudos (Tabela 4), e acima da média obtida por Nelson (2008). Esse resultado é expressivo e alerta para os impactos negativos causados pelo ruído aeronáutico.

A variação nos valores do NSDI indicados no anexo 5, entre 0,56 e 3,30, pode ser causada por diferenças metodológicas entre os estudos ou pode ter refletido diferenças genuínas entre as preferências das diferentes populações (MORRELL e LU, 2000; BLANCO e FLINDELL, 2011).

8. CONCLUSÃO

Este artigo examinou os efeitos do ruído aeronáutico no valor de imóveis em uma área no entorno do Aeroporto Intencional de Brasília. Com base nos resultados da regressão realizada foi determinado uma redução de 1,9% per dB sendo um resultado condizente com os valores obtidos em outros estudos com base na metodologia de preços hedônicos. Esse resultado alerta para os impactos negativos causados pelo ruído aeronáutico. Ademais, a região afetada pelo ruído aeronáutico, no entorno do Aeroporto de Brasília, é maior do que a área analisada nesse estudo. Como trabalhos futuros sugere-se a avaliação do impacto do ruído aeronáutico, em todas as regiões no interior das curvas de ruído no limite $50 < DNL \leq 70$, com uma inclusão maior do número de propriedades no HPM. Também se recomenda um estudo onde seja incluído, no modelo, dados combinados dos níveis de ruído provenientes de múltiplas fontes de transportes em uma única análise.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - *NBR 11.415: Ruído Aeronáutico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. 1990.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente. *Directrizes para elaboração de mapas de ruído versão 3*. 2011. Disponível em: http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudiosReferencia/DirectrizesMapasDez2011_todo_2.pdf . Data de acesso: 28 de março de 2014.

BABISCH, W. The Noise/Stress Concept, Risk Assessment and Research Needs. *Noise Health*, v. 4, n. 16, 1-11. 2002.

BABISCH W.; HOUTHUIJS D.; PERSHAGEN G.; CADUM E.; KATSOUYANNI K.; VELONAKIS M.; DUDLEY M.L.; MAROHN H.D.; SWART W.; BREUGELMANS O.; BLUHM G.; SELANDER J.; VIGNA-TAGLIANTI F.; PISANI S.; HARALABIDIS A.; DIMAKOPOULOU K.; ZACHOS I.; JARUP L. Annoyance due to aircraft noise has increased over the years-results of the HYENA study. *Environment International*, v. 35, n. 8, 1169-76. 2009.

BLANCO, J.C.; FLINDELL, I., Property prices in urban areas affected by road traffic noise. *Applied Acoustics*. 72 p. 133–141. 2011.

BROOKER, P. Aircraft Noise: Annoyance, House Prices and Valuation. *Acoustics Bulletin*, may/june, IOA. 29-32. 2006.

CARBALLO-CRUZ, F. Airport environmental taxes based on the valuation of externalities: the case of the Lisbon - Portela Airport, *Portuguese Review of Regional Studies*, n 19. 2009.

CARVALHO JR, E. B.; GARAVELLI, S. L.; MAROJA, A. M. Analysis of the effects of aircraft noise in residential areas surrounding the Brasilia International Airport. *Journal of Transport Literature*, v. 6, n. 4, 59-81. 2012.

CARVALHO JR, E. B.; GARAVELLI, S. L.; SMOZINSKI, F. V.; MAROJA, A. M.; MELO, W. C. Analysis of key metrics used in sound zoning around of areas close to aerodromes . *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 4, 175-198. 2013.

CARVALHO JÚNIOR, E. B.; GARAVELLI, S. L., BARROS, A. G., ARAÚJO, R. B., MAROJA, A. M e SHIMOISHI, J. M. Análise do efeito do ruído aeronáutico sobre o preço de imóveis residenciais: estudo de caso do Aeroporto Internacional de Brasília. *XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC*. Campinas - SP. v. 01. 2014.

CARVALHO JÚNIOR, E. B., Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta. Tese de doutorado. Universidade de BRasília (UnB), DF. 2015.

DEKKERS, J.E.C.; STRAATEN, J.W. Monetary valuation of aircraft noise: a hedonic analysis around Amsterdam airport. *Ecological Economics*. 68, 2850 – 2858. 2009.

DIRETIVA 2002/49/CE. Diretiva do Parlamento europeu e do conselho da União Européia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, v. L 189/12, p. 48. 2002.

FEITELSON, E.I.; HURD, R.E.; MUDGE R.R. The impact of airport noise on willingness to pay for residences, *Transportation Research Part D* 1, 1–14. 1996.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso em: 21/04/2014

KROESEN, M.; MOLIN E.J.E.; MIEDEMA H.M.E.; VOS H.; JANSSEN S.A.; WEE B. Estimation of the effects of aircraft noise on residential satisfaction. *Transportation Research Part D* 15, 144–153. 2010.

KRUITWAGEN, S.; UDO, J.; JANSSEN, L. Noise Annoyance in the Netherlands: an Empirical Valuation Study. *Environmental and Resource Economists Third World Congress – ERE WC3*. Kyoto, Japan. 2006.

LEVESQUE, T.J. Modelling the effects of airport noise on residential housing markets: A case study of Winnipeg International Airport, *Journal of Transport Economics and Policy* 28, 199 – 210. 1994.

MATOS, J.C.B.; FLINDELL, I.; MASURIER,P.; POWNALL, C. A comparison of hedonic price and stated preference methods to derive monetary values for aircraft noise disturbance and annoyance. *Transportation Research Part D* 20, 40–47. 2013.

MIEDEMA, H.M.; OUDSHOORN, C.G. Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspective* 109, n. 4, 409 – 416. 2001.

MORRELL P.; LU C.H. -Y. Aircraft noise social cost and charge mechanisms – a case study of Amsterdam Airport Schiphol. *Transport Research Part D*, 305–20. 2000.

NAVRUD, S. The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Comission DG Environment, Department of Economics and Social Sciences. Agricultural University of Norway. 2002.

NELSON, J. P. Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values: Problems and Prospects. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 38, n. 1, 1-28. 2004.

NELSON, J.P., 2008. Hedonic property value studies of transportation noise: aircraft and road traffic. In: Baranzini, A., Ramirez, J., Schaerer, C., Thalmann, P. (Eds.), *Hedonic Methods in Housing Markets: Pricing Environmental Amenities and Segregation*. Springer, New York.

PDAD - District Survey by Household Sample. 2011 Disponível em <<http://www.codeplan.df.gov.br/component/content/article/261-pesquisas-socioeconomicas/257-pdad.html>> Acesso em: 21/04/2014.

PÜSCHEL, R.; EVANGELINOS, C.. Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf International Airport. *Transportation Research Part D* 17, 598–604. 2012.

RBAC 161. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n. 161. Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos – PZR . ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). 2013.

UYENO, D., HAMILTON, S.W., BIGGS, A.J.G., 1993. Density of residential land use and the impact of airport noise. *Journal of Transport Economics and Policy* 27, 3–18.

ANEXO 1: INDICADORES ACÚSTICOS

Neste estudo, serão simuladas curvas de ruído no seguinte indicador (métrica) acústico: *DNL* (*Day-night level*). O *DNL* é uma medida cumulativa da energia total do som e representa uma média logarítmica dos níveis sonoros durante um período de 24 horas, com uma penalização de 10 dB adicionado a todos os sons que ocorram durante o horário noturno (das 22h às 7h). A pena de 10 dB representa a intromissão do ruído adicionado à noite, pois os níveis de som ambiente durante as horas noturnas são, tipicamente cerca de 10 dB inferiores aos níveis medidos durante o dia, e por causa da irritação associada a distúrbios do sono (Carvalho Jr, E *et al*, 2013; FAA, 2011).

De acordo com a NBR 11.415 (ABNT, 1990), o nível de incômodo sonoro medido pelo método *DNL* é determinado pelo L_{eq} para 24h, sendo que no período das 22h às 7h, somam-se 10 dB a todos os níveis medidos. É definido da seguinte forma:

$$DNL = 10 \times \log \left[\frac{1}{24} \left(15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right) \right] \quad (1)$$

Onde o número 24 corresponde às horas medidas, 15 ao período diurno e 9 ao noturno, sendo que o período noturno deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte. Já L_d corresponde ao L_{eq} para o período diurno e L_n ao L_{eq} para o noturno.

Já o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), ou nível contínuo equivalente, é o som produzido durante um dado período de tempo, é expresso em dB e calculado de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000) pela equação 2:

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \quad (2)$$

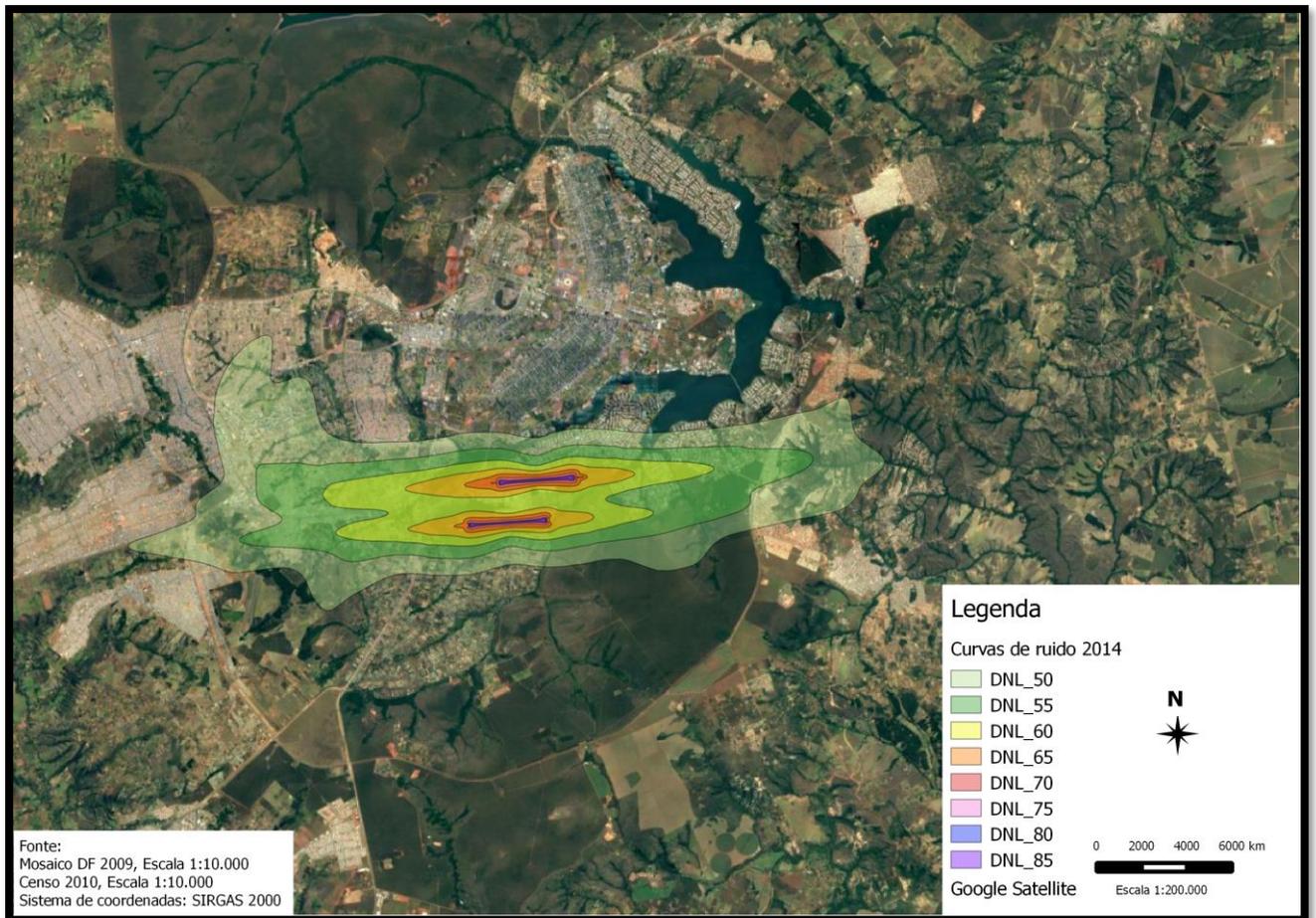
Onde T é a duração do período de referência (tempo total de medida); $p(t)$ é a pressão sonora instantânea; p_0 é pressão sonora de referência ($2,0 \times 10^{-5}$ N/m²). A Equação 2 mostra que o nível equivalente é representado por um valor constante que durante o mesmo tempo T , resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora.

ANEXO 2: VARIÁVEIS INCLUÍDAS NO ESTUDO

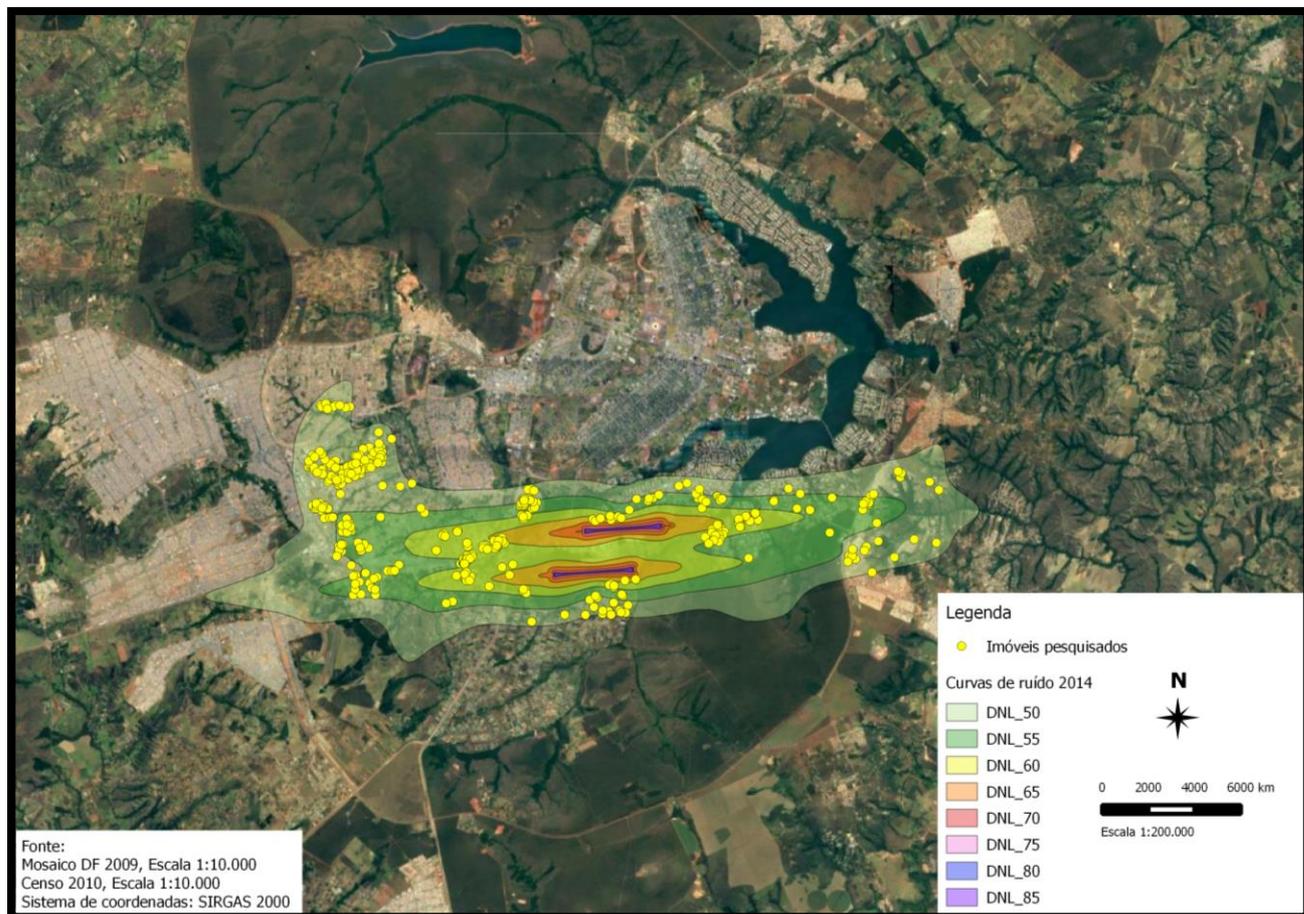
Atributo	Variável
Preço do imóvel	Valor do imóvel
Características do imóvel	Tipo do imóvel (0 = apartamento / 1 = casa térrea / 2 = casa com 2 pavimentos / 3 = casa com 3 pavimentos) *Garagem (0 = não possui / 1 = possui) *Novo ou usado (0= novo / 1= Usado) Área total do terreno (m ²) Área construída (m ²) Número de quartos Número de banheiros *Piscina (0 = não / 1 = sim)
Características da cidade	*Saneamento ambiental (0 = não possui / 1 = possui) *Transporte público (0 = não possui / 1 = possui) *Área Verde (0 = não possui / 1 = possui)
Atributo ambiental	Nível de intensidade sonora (DNL)

* Variável do tipo *dummy*

ANEXO 3: MAPA DE RUÍDO DO SBBR E LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO PESQUISADA



ANEXO 4: MAPA DE RUÍDO DO SBBR E LOCALIZAÇÃO DOS IMÓVEIS PESQUISADOS



ANEXO 5: VALORES DE NSDI OBTIDOS EM OUTROS ESTUDOS

Estudo	NSDI	Study location
Levesque (1994)	1.30*	Aeroporto de Winnipeg - Canada
Espey and Lopez (2000)	2.40	Aeroporto de Reno – Tahoe USA
Carballo-Cruz (2009)	0.56***	Aeroporto de Portela - Portugal
Dekkers and Straaten (2009)	0.77*	Aeroporto de Amsterdam - Holanda
Puschel and Evangelinos (2012)	1.04**	Aeroporto de Dusseldorf - Alemanha
Matos <i>et al.</i> (2013)	3.30*	7 aeroportos na Inglaterra
Esse estudo (2017)	1.90*	Aeroporto de Brasília – Brasil

* Método estatístico: regressão múltipla com modelo log-linear / ** Método estatístico: regressão múltipla com modelo semilog-linear / *** Método estatístico: meta análise