

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS: SIMULAÇÃO DO IMPACTO
AMBIENTAL ACÚSTICO EM BRASÍLIA – DF**

FABIANE SILVA SANTOS

**ORIENTADOR: PhD. JOSÉ MATSUO SHIMOISHI
CO-ORIENTADOR: DR. ARMANDO DE MENDONÇA MAROJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

PUBLICAÇÃO: T. DM - 017/2016

BRASÍLIA/DF: 20 DE JULHO DE 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS: SIMULAÇÃO DO IMPACTO
AMBIENTAL ACÚSTICO EM BRASÍLIA – DF**

FABIANE SILVA SANTOS

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
TRANSPORTES.**

APROVADA POR:

**Prof. José Matsuo Shimoishi, PhD, (PPGT/UnB)
(Orientador)**

**Prof. Armando de Mendonça Maroja, Dr (UnB)
(Co-Orientador)**

**Prof^a Fabiana Serra de Arruda, Dr^a (PPGT/UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. Sérgio Luiz Garavelli, Dr (UNIP)
(Examinador Externo)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 20 JULHO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, FABIANE SILVA

Veículo Leve sobre Trilhos: Simulação do Impacto Ambiental Acústico em Brasília – DF. [Distrito Federal] 2015.

xvi, 105p. 210x297 mm (ENC/FT/Unb, Mestre, Transportes, 2016).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1. Poluição Sonora | 2. Mapas de Ruídos |
| 3. Veículo Leve sobre Trilhos | 4. População Exposta |

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, F. S. (2016). Veículo Leve sobre Trilhos: Simulação do Impacto Ambiental Acústico em Brasília – DF. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação PPGT/ENC. T.DM-017/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabiane Silva Santos.

TÍTULO: Veículo Leve sobre Trilhos: Simulação do Impacto Ambiental Acústico em Brasília – DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Fabiane Silva Santos

Avenida: Jonas Hortélio, 263, Recreio

45020-330

Vitória da Conquista – Bahia

fabianasantos05@gmail.com

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

(Chico Xavier)

DEDICATÓRIA

À Deus, por mais esta conquista.

Aos meus pais, Fernando (saudades eternas) e Maria da Glória, pelo apoio e confiança nessa trajetória.

Aos meus irmãos, Márcio Farane, Márcia Fernanda e Marane, eternos companheiros.

Aos meus sobrinhos, Yuri, Yasmin e Davi, por me proporcionar momentos de alegria.

AGRADECIMENTOS

Á DEUS, por sempre me conceder sabedoria nas escolhas dos melhores caminhos, coragem para acreditar, força para não desistir e proteção para me amparar e me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao professor PhD José Matsuo Shimoishi, pelo apoio, confiança e por compartilhar seus conhecimentos.

Ao Professor Dr. Armando de Mendonça Maroja, por sua competência, paciência, por todos os ensinamentos, pela sua disponibilidade em conduzir este trabalho, meu muito obrigada!

À professora Dr^a Fabiana Arruda, pelas contribuições e incentivos na busca de aperfeiçoar este trabalho.

Ao Professor Dr. Sergio Luiz Garavelli, por ter aceitado o convite para a banca de defesa e pelas contribuições que, direta e indiretamente contribuíram para a finalização deste trabalho.

À todos os professores do mestrado que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

As secretárias Lucinete e Camila que sempre me ajudaram na parte administrativa do mestrado.

À Aline Maia, uma irmã que tive durante dois anos, amiga para todos os momentos. Obrigada por dividir meus problemas e somar as alegrias.

Aos queridos amigos Edson Benício, Wesley Cândido e Edwin Silva, pela amizade, por compartilharem seus conhecimentos, pelo apoio incessante na elaboração deste trabalho. A ajuda de vocês foi essencial para este trabalho.

Aos amigos e colegas de Brasília e Vitória da Conquista que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho. Só tenho que agradecer a todos que passaram pelo meu caminho e que com certeza deixaram um pouco de si.

Meus familiares pelo apoio incondicional em mais uma etapa da minha vida.

Agradeço, por fim, aos meus irmãos, sobrinhos e minha mãe, por existirem. Ninguém existe sozinho, e ninguém é para si mesmo. Agradeço-lhes por darem sentido à minha vida.

Á todos, meu muito obrigada!

RESUMO

O estudo do ruído do tráfego rodoviário nos centros urbanos, ainda é pouco estudado no Brasil. Porém, já é visto como um grande desafio para os gestores das grandes e médias cidades. Assim, este estudo, que refere-se ao mapeamento de ruído rodoviário e ferroviário tem por objetivo avaliar o impacto ambiental acústico sobre a população que habita o Plano Piloto de Brasília – Distrito Federal, com a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos. O método utilizado na pesquisa foi baseado em simulações de curvas de ruído, para assim, obter os mapas acústicos de modo a simular o ruído ambiental provocado pelo tráfego rodoviário e o pelo tráfego ferroviário. A sobreposição entre as curvas de ruído e a distribuição espacial da população por setor censitário foi utilizada para determinar a exposição da população ao ruído ambiental por classe dos indicadores de ruído nos períodos diurno e noturno. Os resultados analisados para o período noturno, que de acordo com a legislação 4.092/2008 que estabelece o limite máximo de 45 dB(A) para as áreas mistas, mostra o percentual significativo da população exposta a níveis de ruído acima do permitido pela legislação, assim estes resultados ficaram em 13% para o cenário atual (2012), 16,2% para o cenário futuro (2020) sem VLT e de 14,5% para o cenário futuro (2020) com o VLT. Com esses mapas de ruído, também foi possível determinar a população com distúrbios no sono e pessoas com o sono altamente perturbado. Diante dos resultados tem-se para o cenário atual (2012) 14,3% das pessoas com distúrbio no sono e 4,5% com o sono altamente perturbado e para o cenário futuro com a implantação do VLT foi estimado um percentual de 12,5% de pessoas com distúrbio no sono e 3,3% com o sono altamente perturbado. Assim a implantação do VLT na avenida W3 não vai ampliar os Níveis de Pressão Sonora na região e sim manter os seus valores no cenário acústico futuro (2020) em patamares próximos ao do cenário atual (2012) mesmo com o aumento significativo da frota de veículos. A simulação mostra que os incômodos futuros sobre a população que habita as vizinhanças da avenida W3 têm uma redução significativa em seus percentuais quando comparados aos valores de 2012.

PALAVRAS-CHAVE: Mapas de Ruídos; Poluição Sonora; População exposta; Veículo Leve sobre Trilhos.

ABSTRACT

The study of road traffic noise in urban centers, is not enough studied in Brazil yet. However, it is seen as a major challenge for managers of large and medium cities. Thus, this study, which refers to road and rail noise mapping, aims to evaluate the acoustic environmental impact on the population living in the “Plano Piloto” of Brasilia - Federal District, with the implementation of Light Rail. The method used in the research was based on noise curves simulations in order to obtain the acoustic maps to simulate the environmental noise caused by road traffic and by rail traffic. The overlap between the noise curves and spatial distribution of population by census tract was used to determine the exposure to environmental noise by class of noise indicators during day and night periods. The results analyzed for night period, according to law 4.092 / 2008 establish the maximum limit of 45 dB (A) for mixed areas, shows significant percentage of the population exposed to noise levels above those permitted by law, so these results were 13% for the current scenario (2012), 16.2% for the future scenario (2020) without the Light Rail Transit (LRT) and 14.5% for the future scenario (2020) with the LRT. With the noise maps obtained, it was also possible to determine the population with sleep disorders and people with highly disturbed sleep. Considering the results obtained, for current scenario (2012) 14.3% of people have disrupted sleep and 4.5% have a highly disturbed sleep. For the future scenario, with the implementation of the LRT was estimated a percentage of 12, 5% of people with disrupted sleep and 3.3% with highly disturbed sleep. Thus, the implementation of the LRT on Avenue W3, it will not expand the Sound Pressure Levels in the region but it will maintain their values in the future acoustic scenario (2020) with levels close to the current scenario (2012), despite the significant increase in the vehicle fleet. The simulation shows that future nuisances on population living in the vicinity of the Avenue W3, have a significant reduction in their percentage when compared with 2012 values.

Keywords: Noise Maps; Noise Pollution; Exposed Population; Light Rail Transit.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 APRESENTAÇÃO.....	17
1.2 PROBLEMA.....	22
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo Geral.....	24
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 JUSTIFICATIVA.....	24
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	25
CAPÍTULO 2. TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE.....	27
2.1 APRESENTAÇÃO.....	27
2.2 TRANSPORTE.....	28
2.2.1 Sistema de Transporte Público tipo Veículo Leve Sobre Trilhos – VLT.....	32
2.3 TRANSPORTE.....	34
2.3.1 Sistema de Transporte Público tipo Veículo Leve sobre Trilhos.....	32
2.3.1.1 Projeto de Implantação do VLT de Brasília.....	38
2.4 AVENIDA W3 SUL E AVENIDA W3 NORTE.....	42
2.4.1 Avenida W3 Sul.....	42
2.4.2 Avenida W3 Norte.....	43
2.5 MEIO AMBIENTE.....	44
2.5.1 Impactos Ambientais.....	46
CAPÍTULO 3. RUÍDO AMBIENTAL.....	48
3.1 APRESENTAÇÃO.....	48
3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS.....	48
3.2.1 Normas Internacionais.....	48
3.2.2 Normas Brasileiras.....	49
3.2.2.1 NBR 10.151.....	50
3.2.2.2 Resolução CONAMA Nº 01/1990.....	51
3.2.2.3 Legislação Distrital Brasília, DF.....	51

3.2.2.4 Câmara Municipal de São Paulo Lei 01-00075/2013.....	51
3.5 AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO.....	52
3.5.1 Mapeamento Sonoro.....	52
3.5.2 Software de Simulação Ambiental.....,	58
3.5.3 População Exposta.....	59
3.5.4 Percentual de Pessoas Incomodadas.....	60
CAPÍTULO 4. MÉTODO.....	62
4.1 APRESENTAÇÃO.....	62
4.2 CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO.....	62
4.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE RUÍDOS.....	63
4.3.1 Planejamento.....	64
4.3.2 Coleta dos Dados.....	65
4.3.3 Construção do Mapa Base.....	67
4.3.4 Mapa de Ruídos: Simulação.....	68
4.4 POPULAÇÃO EXPOSTA E O PERCENTUAL DE PESSOAS COM DISTURBIO NO SONO.....	72
5. CAPÍTULO 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	73
5.2 CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO.....	74
5.2.1 Cenário Acústico Atual (2012).....	76
5.2.2 Cenário Acústico Futuro (2020) sem VLT.....	78
5.2.3 Cenário Acústico Futuro (2020) com VLT.....	80
5.3 MAPAS DE CONFORMIDADE.....	82
5.4 AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL EM PONTOS ISOLADOS.....	85
5.5 PERCENTUAIS DA POPULAÇÃO EXPOSTA.....	87
5.6 PERCENTUAIS DA POPULAÇÃO COM DISTURBIOS NO SONO.....	88
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	91

6.1 CONCLUSÕES.....	91
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
APÊNDICE.....	103
APÊNDICE A MAPAS DE CONFORMIDADE.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Definição de Transporte.....	31
Tabela 2.2	Comparação dos investimentos do VLT com os outros meios de transportes.....	36
Tabela 2.3	Definição de Meio Ambiente.....	44
Tabela 2.4	Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na região Metropolitana de São Paulo em 2013.....	45
Tabela 2.5	Impactos Relacionados aos Transportes.....	35
Tabela 2.6	Impactos ambientais.....	47
Tabela 3.1	Limites dos Níveis de Pressão Sonora de Tráfego Rodoviário	49
Tabela 3.2	Nível Máximo de Pressão Sonora Permitido no Ambiente Externo	51
Tabela 3.3	Vantagens e desvantagens dos modelos de predição de ruído de tráfego rodoviário.....	56
Tabela 3.4	Estimativa do Incomodo Sonoro.....	61
Tabela 3.5	Polinômios para Distúrbios do Sono – Tráfego Rodoviário.....	61
Tabela 5.1	Tabela de Receptores.....	86
Tabela 5.2	População Exposta Curva de ruído Rodoviário (L_{dia}).....	87
Tabela 5.3	População Exposta Curva de ruído Rodoviário (L_n).....	88
Tabela 5.4	Pessoas Distúrbios no Sono Ruído Rodoviário.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Traçado previsto para o VLT em Brasília – DF.....	20
Figura 1.2	Estrutura da Dissertação.....	26
Figura 2.1	Quantidade da Frota de Veículos no DF 2000 – 2014.....	29
Figura 2:2	Classificação do Transporte Urbano.....	31
Figura 2:3	Perspectiva de uma das Estações do VLT no Canteiro Central da Avenida W3 Sul.....	34
Figura 2.4	Composição do Veículo Leve sobre Trilhos.....	34
Figura 2.5	Demanda de Passageiros dos Modais de Transportes.....	35
Figura 2.6	Relação de Equivalência de Capacidade do VLT, do Carro Individual e o Ônibus não Articulado.....	36
Figura 2.7	Vantagens e Desvantagens do VLT.....	37
Figura 2.8	Seção esquemática da W3 com o VLT.....	39
Figura 2.9	Traçado Previsto para o VLT.....	40
Figura 2.10	Avenida W3 SUL.....	42
Figura 2.11	Avenida W3 Norte.....	43
Figura 3.1	Conjunto de Informações Geridas por um SIG.....	59
Figura 4.1	Fluxograma para Elaboração e Análise dos Mapas de Ruídos.....	64
Figura 4.2	Controladores Eletrônicos de Velocidade.....	67
Figura 4.3	Relação de cores e padrões para as classes de níveis sonoros.....	69
Figura 4.4	Recorte de mapa de ruídos apresentado a rede com passo de 5m.....	71
Figura 5.1	Localização da Avenida W3 S/N.....	74
Figura 5.2	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Atual (L_{dia}).....	77
Figura 5.3	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Atual (L_{noite}).....	77
Figura 5.4	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro (2020) sem VLT (L_{dia}).....	79
Figura 5.5	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro (2020) sem VLT (L_{noite}).....	79
Figura 5.6	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro (2020) com VLT (L_{dia}).....	81
Figura 5.7	Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro (2020) com VLT (L_{noite}).....	81
Figura 5.8	Mapa de Conformidade: Uso do solo da Região Central de Brasília.....	82
Figura 5.9	Mapa de Conformidade período diurno – ano atual (2012).....	84

Figura 5.10	Mapa de Conformidade período noturno - ano atual (2012).....	84
Figura A.1	Mapa de Conformidade período diurno – sem o VLT.....	104
Figura A.2	Mapa de Conformidade período noturno – sem o VLT.....	104
Figura A.3	Mapa de Conformidade período diurno – com o VLT.....	105
Figura A.4	Mapa de Conformidade período noturno – com o VLT.....	105

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIB	Aeroporto Internacional de Brasília
AM	Amazonas
ANTP	Associação Nacional de Transportes Público
ANTPTrilhos	Associação Nacional dos Transportes de Passageiros sobre Trilhos
APA	Agência Portuguesa do Meio Ambiente
BA	Bahia
BRT	Bus Rapid Transit
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CE	Ceará
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CEV	Controladores Eletrônicos de Velocidade
CRS	Comercial Residencial Sul
CRN	Comercial Residencial Norte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
dB	Decibel
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DENATARN	Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento de Trânsito
DF	Distrito Federal
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FHWA	Highway Administration
GDF	Governo Distrito Federal
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transporte
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
IPHAN	Instituto do Patrimonio e Histórico Artístico
ISO	International Organization for Standardization
Km	Quilômetro
L_{den}	Indicador de Ruído diurno-entardecer-noturno
L_{dia}	Indicadores de Ruído Diurno
L_{eq}	Nível de Pressão Sonora Equivalente
L_{noite}	Nível de Ruído Noturno
MEDDE	Ministère de L'écologie, du Développement Durable et de L'énergie
MG	Minas Gerais
MT	Mato Grosso
MDT	Mapa Digital do Terreno
NBR	Norma Brasileira
NMPB	Setra-Certu-Lepc-Cstb
NPS	Nível de Pressão Sonora
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes
OMS	Organização Mundial da Saúde
PA	Pará
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento

PDTU	Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal
PE	Pernambuco
PGV	Polo Gerador de Viagem
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PPR	Plano de Redução de Ruídos
PR	Paraná
RA	Região Administrativa
RJ	Rio de Janeiro
RLS	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen
RN	Rio Grande do Norte
SCLRN	Setor Comercial Local Residencial Norte
SCN	Setor Comercial Norte
SEDUMA	Desenvolvimento Urbano do Meio Ambiente
SEDHAB	Secretaria de Estado de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano
SEMAM	Secretaria do Meio Ambiente
SHCGN	Setor Habitacional de Casas Geminadas Sul
SHIGS	Setor de Habitação Individual e Germinadas Sul
SHLN	Setor Hospitalar Local Norte
SHLS	Setor Hospitalar Local Sul
SICAD	Sistema Cartográfico do Distrito Federal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SP	São Paulo
SQN	Super Quadra Norte
SQS	Super Quadra Sul
TAN	Terminal Asa Norte
TAS	Terminal Asa Sul
TCDF	Tribunal de Contas do Distrito Federal
TNM	Traffic Noise Model
TPU	Transporte Público Urbano
UE	União Europeia
UNESCO	Patrimônio Cultural da Humanidade
UTM	Universal Transversa de Mercator
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
W3	Avenida W3
WHO	World Health Organization
%A	Percentual de Pessoas Incomodadas
%HA	Percentual de Pessoas Altamente Incomodadas
%PDS	Percentual de Pessoas com Distúrbios no Sono
%PSAP	Percentual de Pessoas com o Sono Altamente Perturbado
%PSLP	Percentual de pessoas com soo levemente perturbado

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Desde 2007, os projetos de Mobilidade Urbana promovidos pelo Governo Federal através do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, fomentam ações estruturantes para a cidadania e apoiam a qualificação e ampliação da infraestrutura de mobilidade urbana com a ampliação, modernização e implantação de sistemas de transporte público coletivo nas cidades brasileiras como o Metrô, *Bus Rapid Transit* – BRTs, Corredores de ônibus, Veículos Leves sobre Trilhos – VLT, aeroportos, entre outros (Ministério dos Transportes, 2013; Plano de Mobilidade Urbana, 2007; BRT 2008; ANTP, 2012).

A ampliação e implantação de grandes infraestruturas de transportes nas cidades são acompanhadas do aumento das externalidades negativas, das quais destacamos a poluição sonora e a poluição do ar provocada pela emissão de poluentes. A poluição sonora tem como principal agente o ruído proveniente dos transportes (Ministério dos Transportes, 2013; Murgel, 2000).

Nos centros urbanos, o ruído ambiental gerado pelo tráfego de veículos é predominante (Tsai, 2009; Jeong, 2011; King *et al.*, 2011). Nas vizinhanças de aeroportos, o ruído aeronáutico é aquele com maior potencial de incômodo (Carvalho Jr *et al.* 2010), em especial no período noturno. Além dos efeitos adversos em relação à saúde o ruído urbano está cada vez mais presente no cotidiano, prejudica e interfere nas atividades diárias do homem, seja em casa, na escola, no trabalho e lazer (WHO, 2011; Eniz e Garavelli, 2006).

Esse aumento de ruído nos centros urbanos eliminou o silêncio e atualmente o ruído se constitui como um agente contaminante mais nocivo à saúde humana, podendo ocasionar doenças cardíacas, hipertensão, desordens mentais como também o distúrbio no sono. (Guedes *et al.*, 2014; Medeiros, 1999; Babisch *et al.*, 2004; Jarup *et al.*, 2005; Haralabidis *et al.*, 2008; Jakovljevic *et al.*, 2009; Sobotova *et al.*, 2010). Os ruídos noturnos procedentes do tráfego veicular em especial os de aviões, que tem aspecto intermitente, aumentam a pressão sanguínea das pessoas, mesmo daquelas que estão dormindo. O efeito mais óbvio da exposição ao ruído durante a noite é a perturbação do sono que diminui o

tempo em que as pessoas se encontram em sono profundo e também afetam as fases iniciais do sono (Aasm, 2001; Insing *et al.*, 2002; Carvalho *et al.*, 2012; Who, 2011).

A avaliação do impacto ambiental sonoro não tem sido considerada de forma sistemática pelas políticas de planejamento urbano no Brasil (Murgel, 2000; Mendonça *et al.*, 2013). Como consequência, esse instrumento de planejamento fica restrito e aplicado no âmbito acadêmico científico, como demonstram os trabalhos de Moraes (2006) no centro de Belém -PA, Pinto e Mardones (2009) no Rio de Janeiro - RJ no bairro Copacabana, Costa e Lourenço (2010) no centro de Sorocaba - SP, Cantieri (2010) na área central da cidade de Curitiba - PR, Giunta (2013) em um bairro residencial na cidade de Bauru - SP e Garavelli (2013) no Plano Piloto na área central de Brasília. Apenas a cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, apresenta um programa de mapeamento sonoro realizado pela Secretaria do Meio Ambiente - SEMAM (SEMAM, 2011; Brito e Coelho, 2010).

No Brasil, existem normas que regulamentam os Níveis de Pressão Sonora - NPS máximos para os ruídos ambientais como a NBR 10.151 (ABNT, 2000) e para os confortos acústicos de edificações a NBR 10.152 (ABNT, 1987), mas não foi estabelecida, até a data de realização dessa pesquisa, uma norma nacional para avaliar e planejar o ruído ambiental, como na Europa que possui a Diretiva 2002/49/CE (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

Na cidade de São Paulo foi criada a Lei 01-00075/2013 que prevê a elaboração do Mapa de Ruído Urbano da Cidade de São Paulo para conscientizar a população dos efeitos do ruído sobre a saúde, identificar as principais fontes de emissão de ruído, fomentar o uso de novas tecnologias para mitigar as emissões, difundir campanhas educativas sobre ruído, entre outras (Câmara Municipal de São Paulo Lei 01-00075/2013, 2013).

Para a Comunidade Europeia, a avaliação sistemática do impacto ambiental acústico é realidade nas grandes e médias cidades. Desde 2002 a proposta central é definir uma abordagem comum entre os estados membros para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiental nos Estados – Membros Europeus, a qual obriga que os municípios com mais de 250 mil habitantes elaborem um mapeamento sonoro para o controle do ruído (Parlamento Europeu e do Conselho, 2002; Diretiva 2002/49/EC; Murphy, King & Rice 2009; Murphy e King, 2010; Barreto, 2007).

O mapeamento sonoro auxilia o planejamento para reduzir o nível de ruído de transportes em todo o mundo. Este mapeamento tem sido realizado em diversos países, como por exemplo, nos EUA na cidade de Fulton, que realizou a modelagem de ruído do tráfego rodoviário juntamente com a análise da população exposta a níveis elevados de ruídos (Jeong C., Seong, 2011). Em Taiwan foram analisadas as características espaciais de ruído no ambiente urbano para investigar a atual distribuição dos níveis de ruído nas diferentes zonas de uso do solo, incluindo a área residencial (Kag-Ting Tsai *et al.*, 2009).

A Coreia do Sul usou modelos de previsão de ruído na área urbanizada para identificar os níveis de ruídos gerados pelo transporte (Joon Hee Ko *et al.*, 2013). Na Escócia, foram realizados mapas de ruído nas principais rodovias (The Scottish Government, 2008); na Alemanha o mapeamento de ruído é realizado há mais de 25 anos (Kang-Ting *et al.*, 2009).

Em Portugal o Mapa de Ruído da cidade de Lisboa foi lançado no ano 2000. Este representou os níveis de ruído de acordo com a legislação nacional com a finalidade de resolver os problemas de ruídos na cidade (Câmara Municipal de Lisboa, 2011; Carriço *et al.*; 2013). Na cidade de Pamplona – Espanha foi realizada um estudo para a exposição da população ao ruído, em áreas residenciais, onde se concluiu que 60% das áreas analisadas chegam a ultrapassar valores de 65 dB(A) no período diurno (Arana *et al.*, 1997).

Para que ocorra a redução dos ruídos provenientes dos transportes nos centros urbanos é necessário a realização de planejamento de novas infraestruturas de transportes. Para os atuais sistemas operacionais, é necessário a implementação de infraestruturas que propiciem mudanças ambientais positivas, capazes de reduzir a poluição sonora e os congestionamentos (Specht *et al.*, 2009; Callai, 2008; PDTU, 2010).

No Distrito Federal, o Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal - PDTU/ DF é o instrumento de planejamento que define as diretrizes e as políticas estratégicas para a gestão dos transportes urbanos do Distrito Federal - DF (PDTU, 2010; VLT, 2014; Portal Transparência, 2014). O documento apresenta dois grandes projetos de mobilidade que seriam implantados na Capital Federal, o BRT, com ligação entre as Regiões Administrativas do Gama e Santa Maria a Brasília (PDTU, 2010; Morais *et al.*, 2011; Ministério dos Transportes, 2013) e o Veículo Leve sobre Trilhos - VLT (PDTU,

2010; GDF, 2012; Metrô – DF, 2014). Até ao momento da realização desta pesquisa, o projeto do VLT não foi implementado.

Em maio de 2016 o governo do DF lançou o Circula Brasília - Programa de Mobilidade Urbana do Distrito Federal, cujo objetivo é promover e integrar as ações e políticas de transportes, de forma segura, inclusiva e sustentável. Entre as ações previstas no programa destacam-se o VLT. O programa prevê a contratação e o desenvolvimento do projeto de engenharia das Linhas 1 e 2 do VLT (<http://agenciabrasilia.df.gov.br/2016/05/24/capital-tera-277-km-de-rede-integrada-de-transporte-publico/>).

Com 15 quilômetros de extensão, a linha 1 liga o Terminal Asa Sul ao Terminal Asa Norte, pela W3 que divide a cidade em dois eixos importantes conhecidos como Asa Sul, onde está a Avenida W3 Sul, e Asa Norte, onde está a Avenida W3 Norte. A linha 2 passará pelo Eixo Monumental onde estão localizados a sede dos principais órgãos públicos, como mostra a Figura 1.1.

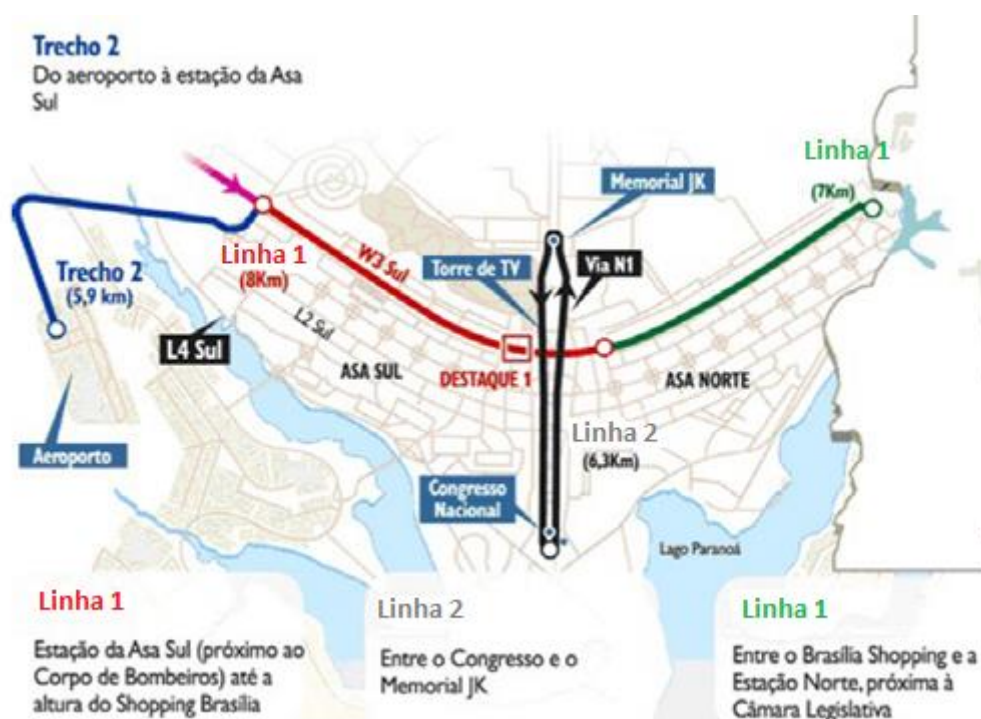


Figura 1.1: Traçado previsto para o VLT em Brasília – DF
Fonte: Correio Brasiliense, 2007 Apud Santos et al, 2009

A implementação de projetos como o VLT torna-se uma alternativa para a solução de problemas dos congestionamentos e os ruídos ambientais nos centros das grandes cidades nas quais se concentram a maior demanda de viagens, como o exemplo do Distrito Federal. Quando implementado irá reduzir o tempo gasto no deslocamento e restringindo o congestionamento do tráfego (Leeuwen, 2003; De Bruijn e Veeneman, 2009).

Um exemplo importante de avaliação com a implementação do sistema VLT em operação é Denver nos Estados Unidos da América - EUA. Foi feita uma avaliação do impacto no congestionamento do tráfego de veículos. O VLT entrou em operação em 1994 e a análise foi baseada em dados do período 1992-2008. A avaliação espacial do tráfego nas rodovias indicou que os três corredores de veículos ferroviários ligeiros, em operação, conseguiram reduzir a taxa de aumento do tráfego em rodovias dentro da zona de influência do VLT, em comparação às rodovias fora da zona de influência (Bhattacharjee e Goetz, 2012).

No Brasil, o sistema VLT encontra-se em operação na região do Cariri, sul do Ceará. Em sua primeira fase, possui 9 estações e uma linha de 13,6 km de extensão. Este sistema interliga as cidades de Crato e de Juazeiro do Norte (Rodrigues *et al.*, 2011; Metrofor, 2013). Em Cuiabá, capital do Mato Grosso iniciou a implementação do projeto do VLT como alternativa para desafogar o trânsito em sua região metropolitana, estimulando os motoristas a deixarem seus carros na garagem para utilizar o novo sistema. Atualmente as obras estão suspensas devido a um processo de andamento na Justiça Federal envolvendo o estado e o consórcio de empreiteiras responsáveis pelas obras (Portal Transparência, 2014; Alouche, 2008, Mobilize, 2016).

Na avaliação do impacto ambiental acústico dos transportes existem várias metodologias que podem ser seguidas, tais como: (i) Medidas ambientais de NPS e SIG que podem ser utilizadas para determinar o impacto ambiental acústico devido o ruído de tráfego rodoviário e calcular o mapa de ruído para avaliar a exposição da população ao ruído temos o exemplo de Guangzhou na China que realizou um trabalho no ano de 2014 (Cai *et al.*, 2013); (ii) Medidas ambientais do NPS e GPS permitem avaliar o impacto ambiental através medida/GPS, mapas de ruídos usando o ruído e os dados de GPS medidos simultaneamente. O sistema permite o mapeamento de ruído medido para as quantidades

de níveis de pressão sonora dando informação não apenas para avaliar a situação de ruído atual, mas também para identificar os problemas futuros (Cho *et al.*, 2006).

Neste contexto, para este trabalho serão realizadas as simulações do ruído ambiental referente aos cenários (cenário 2012, cenário futuro sem VLT - ano de 2020 - e cenário futuro - ano de 2020 com VLT), com a finalidade de avaliar o impacto ambiental sonoro com a implantação do VLT na área central de Brasília – DF. Serão simulados cenários com os indicadores L_{dia} e L_{noite} . Será realizada também a avaliação do impacto ambiental acústicos nos cenários, utilizando como ferramenta os mapas de ruídos, para posteriormente comparar com a conformidade em relação à legislação ambiental. Em seguida, será feita o cálculo da população expostas referentes ao L_{dia} e L_{noite} e também o cálculo da população com distúrbio no sono e com o sono altamente incomodado com o ruído no período noturno. Assim, a avaliação vai utilizar recursos de simulação computacional e de análise espacial para cumprir os objetivos da pesquisa.

1.2 PROBLEMA

Nos dias atuais, milhões de pessoas são expostas a ruídos provenientes das mais diversas fontes. O aumento do ruído está ligado diretamente ao alto índice de crescimento demográfico da população urbana e, conseqüentemente o aumento das fontes geradoras de poluição sonora, tais como aumento das atividades de construção civil e aumento do número de veículos em circulação. Nas grandes cidades, a grande causa do ruído urbano é caracterizada principalmente pelo tráfego de veículos (Zannin *et al.*, 2002).

O controle do ruído nas cidades é um problema internacionalmente conhecido por suas dificuldades e tem sido intensamente estudado, principalmente na Europa. O crescimento das cidades e o aumento no número de automóveis que trafegam no perímetro urbano das grandes cidades vem contribuindo para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano (Belojevic & Jakovljevic, 1997; Schultz, 1978; Apud Morillas *et al.*, 2002; Saadu *et al.*, 1996; Zannin & Sant'ana, 2011).

Diante dessa realidade, Brasília que faz parte das grandes cidades brasileiras, inaugurada a pouco mais de 50 anos, já passa por um processo de saturação de tráfego no centro urbano, assim como as metrópoles centenárias brasileiras que, dissociados de políticas públicas é o causador de uma série de problemas nos centros urbanos, tendo como destaque o aumento da poluição sonora e os grandes congestionamentos (Costa, 2011).

O Distrito Federal possui aproximadamente uma frota de 1.622.396 veículos (DENATRAN, 2015). Diante desta quantidade de veículos, a população vive com um mal invisível presente no dia a dia, o que compromete o meio ambiente e a qualidade de vida (Rodrigues *et al.*, 2011), e esse problema vem aumentando a cada ano devido ao aumento considerável da frota de veículos. Acredita-se que na região central de Brasília estão pelo menos 70% das oportunidades de trabalho (Ribeiro, 2012), logo, uma boa parte da população usa vias arteriais do Plano Piloto para acesso ao centro diariamente.

Devido esse aumento considerável da frota de veículos em Brasília, apresenta um movimento intenso de veículos, que transitam diariamente por áreas densamente habitadas. Isso faz com que moradores que moram e transitam próximo a via principal (W3 S/N) convivem diariamente com o ruído ambiental. Sendo assim, a poluição sonora causada pelo tráfego veicular, nos dias de hoje, é uma das principais fontes de poluição ambiental. A poluição sonora é responsável por impactos negativos que geram prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida. Pode, ainda, interferir no sono e nas atividades dos indivíduos, incluindo a concentração e a comunicação (Berglund *et al.*, 1999; Ramalingeswara Rao & Seshagiri Rao, 1992; Robinson, 1971 Apud Silva, 2015)

Diante desse fato, o VLT será implantado em Brasília com a finalidade de reduzir o volume de veículos leves e pesados que circulam no centro do Plano Piloto, que faz surgir problemas como a poluição sonora e os congestionamentos. Assim, a proposta para a realização deste trabalho teve por motivação, a implantação do VLT que é uma proposta do Governo de Brasília, com vistas a melhorar os problemas enfrentados pela população, juntamente com a revitalização da W3 S/N que irá urbanizar a avenida para que possa resgatar a urbanidade perdida.

Desse modo, com a diminuição do número de veículos em circulação na via principal do Plano Piloto, espera-se que haja uma maior fluidez no deslocamento e, conseqüentemente uma diminuição dos NPS. Assim, faz-se necessário um estudo detalhado a respeito dos NPS advindos de mudanças nas características do tráfego em decorrência da implantação de um novo modal.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar o impacto acústico sobre a população do Plano Piloto Brasília – DF, com a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos – VLT.

1.3.2 Objetivos Específicos

- (i) Definir os cenários referentes a situação atual e futura para avaliação do impacto ambiental acústico com a implantação do VLT em Brasília – DF;
- (ii) Realizar avaliação do impacto ambiental acústico nos diversos cenários utilizando como ferramenta os mapas de ruído;
- (iii) Avaliar a conformidade em relação à legislação do ruído ambiental na região de influência direta do VLT, para cada um dos cenários definidos;
- (iv) Determinar os percentuais da população exposta por classe dos indicadores L_{noite} e L_{dia} , na vizinhança das linhas do VLT, para os diferentes cenários propostos;
- (v) Estimar o número de pessoas incomodadas e altamente incomodadas em função do indicador de ruído ambiental L_{noite} .

1.4 JUSTIFICATIVA

Capital federal do Brasil e sede do governo do Distrito Federal, Brasília está localizada na região Centro-Oeste do país. Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE para 2015, sua população era de 2.914,830 habitantes, sendo, então, a

quarta cidade mais populosa do país. Brasília é também a sétima concentração urbana mais populosa do Brasil e, como toda grande capital em contínuo desenvolvimento, agrega mais este componente à sua vida urbana: a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano.

Diariamente Brasília recebe milhares de veículos, devido à concentração dos principais postos de trabalho, instalação dos órgãos do governo do Brasil, estarem localizados no Plano Piloto. Isto faz com que as pessoas que moram nas Regiões Administrativas se desloquem para o Plano Piloto para trabalhar, aumentando a concentração de veículos na região central de Brasília. Estes trabalhadores preferem se locomover em seus carros particulares e não optam em utilizarem o transporte público devido à má qualidade dos serviços, o que proporciona os congestionamentos e a poluição.

Decorrente dos problemas citados verificou-se que Brasília, apesar de ser uma cidade planejada, apresenta problemas de congestionamento no tráfego rodoviário, atribuídos às características de suas principais vias e ao fluxo de veículos que por elas trafegam, o que gera grandes problemas como a poluição sonora.

Portanto, julga-se necessário fazer a avaliação do ruído do tráfego rodoviário na RA de Brasília, particularmente na Avenida W3 S/N, onde será implantado o VLT. Assim, esta avaliação consiste na realização de simulações para avaliar o impacto ambiental sonoro no cenário atual e também no cenário futuro com a implantação do VLT e sem o VLT, permitindo assim comparar os cenários e identificar as áreas com níveis sonoros acima dos permitidos pela legislação (Pinto *et al.*, 2009) e contribuir para que possa ser discutido entre os modais de transporte, com indicação de ferramenta de suporte à tomada de decisão para que possa acontecer medidas mitigadoras que minimizem os efeitos nocivos dos transportes sobre a população e o meio ambiente.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Explicando o que se segue, essa dissertação consta de 6 capítulos. O capítulo 1 corresponde à introdução da pesquisa. Nele consta o problema, os objetivos, a justificativa e a estrutura da dissertação.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a revisão bibliográfica da pesquisa. Especificamente no capítulo 2 são apresentados os conceitos fundamentais de Transporte e Meio Ambiente, dando ênfase ao VLT. O capítulo 3 trata do Ruído Ambiental. Para tanto, utiliza a legislação vigente e estudos de mapeamento sonoro e população exposta ao ruído ambiental.

O capítulo 4 apresenta a proposta do método utilizado na avaliação do impacto ambiental acústico. O mesmo apresenta as principais características da Avenida W3, que corta o Plano Piloto no sentido L-W, no canteiro central onde será construída a linha do VLT.

O capítulo 5 são apresentados as Análises e Resultados. Para apresentação da análise e modelagem espacial da poluição sonora, utiliza-se o Software de Simulação Ambiental Acústica e o SIG. Por fim, temos o capítulo 6 que apresenta a conclusão e sugestões de trabalhos futuros. A Figura 1.2 apresenta a estrutura adotada para a realização da dissertação.

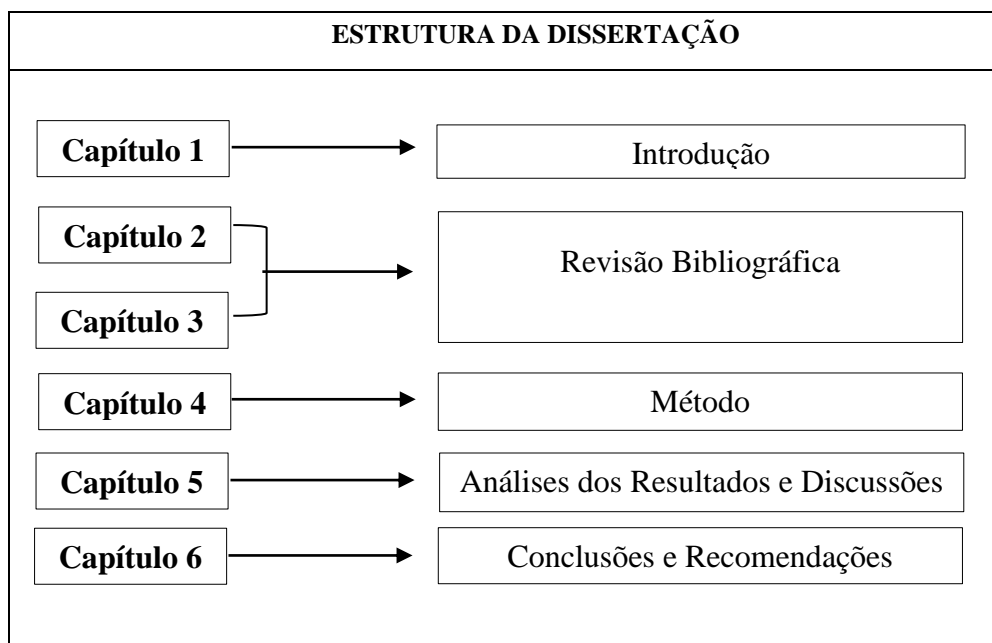


Figura 1.2: Estrutura da Dissertação

2 TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE

2.1 APRESENTAÇÃO

O setor de transportes está entre aqueles que mais têm contribuído para a aceleração da degradação ambiental nos centros urbanos. Essa degradação está relacionada às externalidades do tipo: uso do solo, congestionamentos, poluição do ar, poluição sonora, entre outras.

Dessa forma, a questão ambiental ligada ao sistema de transportes é bastante abrangente e tem sido debatida principalmente no tocante à poluição ambiental e à poluição sonora, decorrente do tráfego urbano (Geipot, 1992). Recentemente, o ruído urbano tem sido bem reconhecido como um dos principais temores que afetam a qualidade de vida nas áreas urbanas em todo o mundo, este por sua vez passou de terceiro para segundo lugar entre os maiores problemas ambientais causadores de doenças no mundo e atinge as pessoas de todas as classes sociais e idades (WHO, 2011; Hunashal *et al.*, 2012).

No entanto, apresentam-se neste capítulo os conceitos e exemplos referentes ao Meio Ambiente e ao Transporte Público Urbano - TPU, como também os impactos provocados pelo TPU, dando um maior destaque para a poluição sonora.

Ressalta-se também a importância do TPU dando ênfase a implantação do VLT, tendo como referências experiências em cidades da Europa e EUA que já fazem uso do sistema de VLT. No Brasil, por ser o país que recebeu a Copa das Confederações no ano de 2013, Copa do Mundo em 2014, e as Olimpíadas de 2016, apresenta em seus projetos de mobilidade urbana a implantação do modal VLT, o que permite trazer soluções inteligentes para o problema do transporte público.

Desse modo, este capítulo é estruturado em quatro tópicos, além da apresentação. O tópico 2.2 trata do levantamento de conceitos nacionais sobre o Meio ambiente, como suas leis e impactos ambientais provocados pelos transportes. O tópico 2.3 aborda os tipos de transporte público urbano e suas características. O tópico 2.4 relata o sistema de transporte público do tipo VLT, bem como as suas vantagens e desvantagens, sua importância para a

mitigação da degradação ambiental e a sua implantação em países internacionais. E por fim, o tópico 2.5 que se refere ao VLT no Brasil, que conta um breve histórico do seu surgimento no país e também a importância da sua implantação em grandes cidades como Brasília – DF.

2.2 TRANSPORTE

O transporte tem se mostrado como um elemento indutor do crescimento de uma região. Isto pode ser observado nas grandes e médias cidades. Algumas crescem em torno dos portos em função das atividades desenvolvidas nestes, gerando comércio e emprego, outras ao longo de estradas de ferro. E na medida em que estas áreas foram se expandindo, os tipos de ocupação foram se concentrando em áreas de comércio, serviços, indústrias e residências, ou seja, diferentes tipos de uso do solo, gerando a necessidade de deslocamento da população e conseqüentemente de novos sistemas aumentando a demanda pelo transporte (Campos, 2013).

A demanda por transporte é considerada uma demanda “derivada”, isto é, as pessoas viajam para satisfazer uma necessidade em seu destino. Isto porque ela é uma consequência da necessidade do deslocamento para se realizar alguma atividade. Por isto pode variar com a hora do dia da semana, o propósito da viagem e com o tipo de transporte oferecido. Nas áreas urbanas, grande parte da demanda está concentrada, particularmente, nas horas de pico. A demanda por transporte também é dependente das características físicas e socioeconômicas de cada região (Campos, 2013).

O Transporte de uma forma geral é um meio para que outras atividades produtivas possam efetivar-se cabendo, portanto, ao poder público o dever de bem provê-lo para atender ao direito dos cidadãos de consumir os seus deslocamentos. No caso do transporte particular a atuação do poder público se restringe à implantação do sistema viário, à regulamentação do seu uso e ao controle operacional do trânsito em geral.

Com o aumento do transporte individual a frota de veículos no Distrito Federal cresceu no período de 2001 a 2014, a uma taxa maior que 5,2% ao ano, passando de 651 342 mil

veículos no início do período para aproximadamente 1,5 milhões em 2014, entre carros leves e pesados (DENATRAN-DF, 2014).

Esse aumento de veículos que circulam em Brasília – DF é perceptível, pois o trânsito é cada vez mais intenso o que torna mais lento nas primeiras horas do dia. Essa quantidade de veículos quase triplicou desde dezembro de 2001 até 2014, conforme mostra a Figura 2.1, que no último ano já apresenta uma frota acima de 1,5 milhões de veículos emplacados, ocasionando congestionamentos e as acentuadas elevadas poluições atmosférica e sonora.

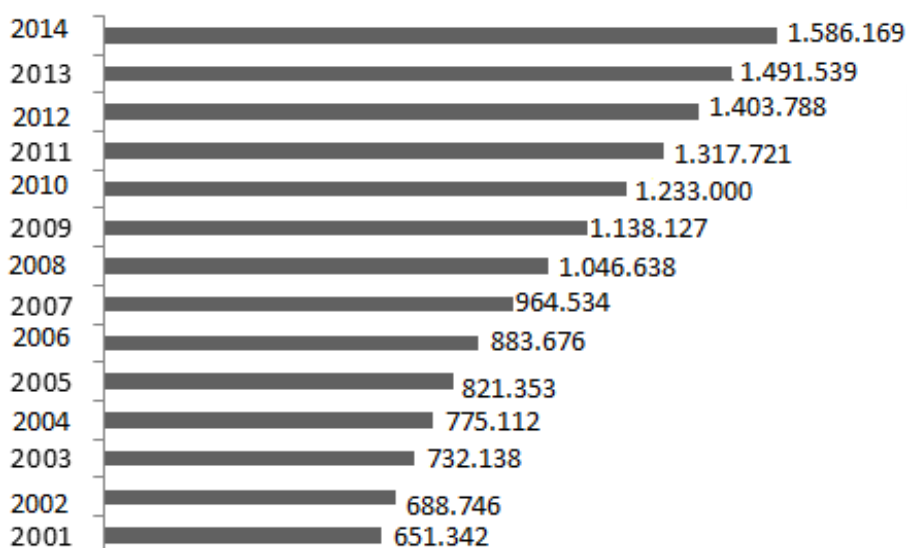


Figura 2.1: Quantidade da Frota de veículos no DF 2000 – 2014
Fonte: Adaptado DENATRAN/DF 2014

O Transporte individual exerce sobre a sociedade uma influência muito maior do que aquela comumente percebida. Este apresenta grande importância na atual configuração dos deslocamentos urbanos, por propiciar a interligação entre as diversas regiões das cidades. Mas não podemos deixar de destacar que o transporte individual é o percussor de graves problemas encontrados nas cidades como os congestionamentos, acidentes de trânsito e impactos ambientais.

Os problemas citados aumentaram nos últimos anos devido ao processo de urbanização associado ao aumento do uso de veículos individuais, pois o mesmo leva o passageiro exatamente do ponto de partida ao ponto de chegada, sem esperas durante o percurso, sendo confortável, mais rápido para longas distâncias e atende as necessidades do dia a dia

da população (ANPTrilhos, 2014; Ferraz e Torres, 2004). Para um melhor entendimento do que venha a ser o Transporte, a Tabela 2.1 apresenta algumas definições do Transporte.

Tabela 2.1: Definição de Transporte

Autores	Definição de Transportes
Rodrigues (2013)	Deslocamento de pessoas e pesos de um lugar para outro.
Ferraz e Torres (2004)	Denominação dada ao deslocamento de pessoas e de produtos.
Vasconcellos (2005)	Transporte que pessoas utilizam para realizarem seus deslocamentos.
Borges (2006)	Realizar deslocamento diário das pessoas.
CEFTRU (2007a)	O deslocamento intencional de pessoas e cargas.

Fonte: Adaptado de Rodrigues 2013

Dos conceitos apresentados acima, pode-se concluir, que o transporte possui a função de integrar áreas distintas, diminuindo o intervalo de tempo nos deslocamentos e atende a todos os cidadãos nos direitos fundamentais de ir e vir.

Segundo Ferraz e Torres 2004, afirmam que o transporte de pessoas é referido como transporte de passageiros, ao passo que o de produtos é referido como transporte de cargas e quando os deslocamentos ocorrem no interior das cidades é empregado o termo transporte urbano.

Ainda de acordo com os autores Ferraz e Torres 2004, estes dividem o transporte urbano em três grandes grupos: privado ou individual, público coletiva ou de massa e semi público.

- Público coletivo ou de massa – Veículo de grande porte, que consegue transportar várias pessoas, possui uma baixa flexibilidade, opera com rotas e horários pré-determinados e pertence a uma ou a mais empresas. Os modos mais comuns de transporte público urbano são: ônibus, metrô, bonde e trem suburbano.
- Semi público – Este veículo possui rota e horários adaptáveis ao usuário, porém ele não detém posse do veículo.
- Privado ou individual – são os modos em que o veículo utilizado no transporte pertence (mesmo que temporariamente) à pessoa que está dirigindo. Há completa liberdade para escolher o caminho a seguir e o horário de início da viagem, ou seja,

existe total flexibilidade no tempo e no espaço para efetuar o transporte. O número de passageiro é pequeno e o deslocamento é de porta em porta.

A Figura 2.2 ilustra a teoria de Ferraz e Torres 2004, em relação aos tipos de transporte público citado acima:

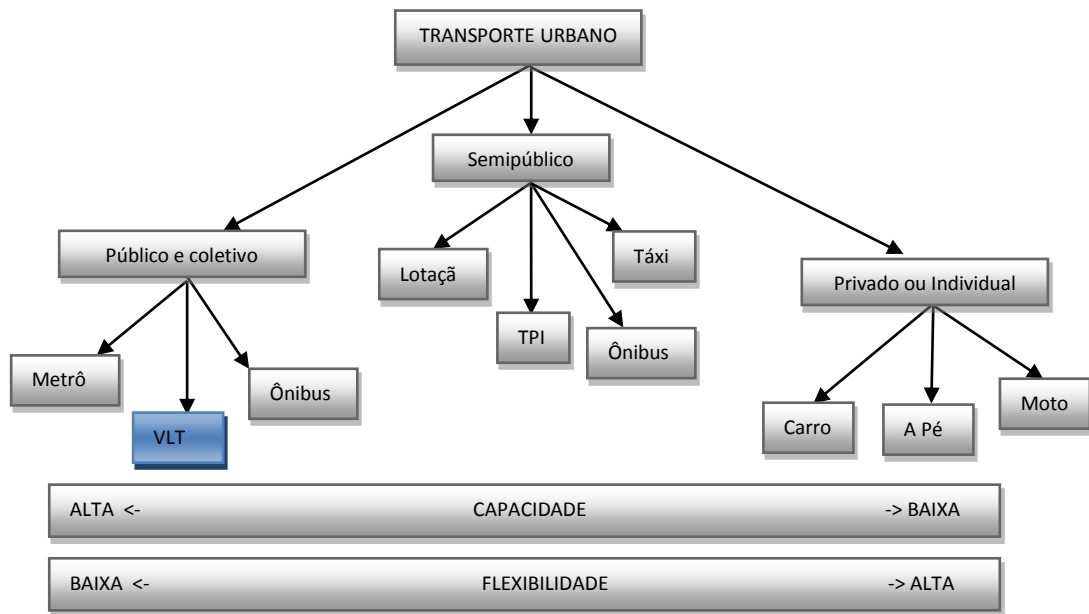


Figura 2.2: Classificação do Transporte Urbano
Fonte: Ferraz e Torres (2004)

No Brasil, o ônibus é o principal meio de transporte público de passageiros responsável pelo deslocamento de 40 milhões de passageiros diariamente e atende 87% da demanda do TPU, com uma frota de 96.300 veículos (NTU, 2012).

Já nos países desenvolvidos o meio de transporte mais utilizado é o metrô, como por exemplo, a cidade de Londres que transporta diariamente 3 milhões de pessoas e o número de veículos chega a 4.070, número bastante alto se comparar com a cidade de São Paulo que transporta diariamente uma população de 4,6 milhões em apenas 900 veículos (ANTP, 2012).

Portanto, na medida em que as cidades se desenvolvem, aumenta a demanda pelo transporte, e o que se pode observar em relação ao sistema viário é a falta de uma estruturação adequada que acompanhe esse crescimento, em se tratando tanto de configuração da malha urbana quanto de equipamentos de infraestrutura.

Assim, com a falta de qualidade do serviço e das estruturas que acarreta problemas difíceis para a população levando-a a perder muito tempo com o deslocamento, como pode observar nas grandes e médias cidades, em particular a cidade de Brasília, nos dias atuais é notável uma preferência das pessoas pelo modo de transporte mais confortável: o carro.

Por tanto, com essa nova realidade do trânsito nas grandes cidades, faz-se necessário o incentivo ao uso do TPU em detrimento do particular, uma vez que o aumento quantitativo deste último contribui para os recorrentes congestionamentos em horários de pico, como também o aumento da poluição sonora que fica atrás apenas da poluição do ar (WHO, 2011) o que contribui para uma queda da qualidade de vida da população.

Uma das alternativas de meios de transporte conhecido mundialmente, porém recente no Brasil, capaz de reduzir esses problemas é o sistema ferroviário intraurbano e urbano, representado pelo metrô, BRT, VLT entre outros, contribui para aumentar a mobilidade nos centros urbanos, incrementando a qualidade, segurança e regularidade do transporte público para a população (Jarzab, 2002). Por esta razão, no tópico subsequente, são apresentadas considerações a respeito do uso do TPU, o VLT, como alternativa para a melhoria da mobilidade urbana, como também as suas características e vantagens que este modal traz para a população, bem como a comparação com outros sistemas de transporte.

2.2.1 Sistema de Transporte Público tipo Veículo Leve Sobre Trilhos – VLT

Este modal que será implantado na área central de Brasília apresenta um avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, como a redução dos níveis de ruídos e vibrações provenientes dos motores elétricos e demais maquinários dos trens contêm sistema de ar condicionado e freios, bem como do arrasto aerodinâmico (Leeuwen, 2003). Os Modernos VLT's em sua quarta geração são 10 dB mais silenciosos que os da primeira geração (Alstom, 2012). Por tanto, apenas persistente o ruído proveniente do atrito entre roda e trilho que é mais significativo em curvas fechadas (Leeuwen, 2003). Devido a essas características o VLT preenche uma lacuna em regiões que necessitam de um transporte de média capacidade (Alouche, 2008).

Por sua vez, permite mais espaços para os pedestres, esses trens possuem baixo impacto ambiental, pois são veículos elétricos, por tanto são mais silenciosos que o metrô e acarreta a redução da poluição sonora e do ar com adaptação em qualquer região, a emissão sonora é comparável a de 11 carros, possui capacidade de transportar centenas de pessoas e são adequadas para percorrer distâncias entre 10 km e 40 km.

A opção pelo VLT pode ser vista como um processo de tomada de decisão com vários atores, onde a decisão correta exige o envolvimento de uma vasta gama de peritos e das partes interessadas (De Bruijn e Veeneman, 2009). No caso da Asa Sul e Asa Norte, devem-se considerar as exigências relativas ao fato do Plano Piloto de Brasília ser patrimônio cultural da humanidade (Unesco, 1987). Não deve ser deixado de lado o planejamento prévio em relação ao aumento da demanda por energia elétrica com a implantação desse tipo de infraestrutura de transporte (Grenier e Page, 2012).

O Veículo Leve sobre Trilhos – VLT, como é chamado no Brasil, tem diversos nomes ao redor do mundo, somente para citar alguns: *Light Rail*, nos EUA, *Metro Liger*, em Madri (Espanha), *Eléctrico*, em Lisboa (Portugal), *Tramway* ou *Tram*, na França. Segundo Alouche (2012), *tramway* é o termo preferido para definir o veículo leve sobre trilhos porque, segundo ele, é o que melhor representa a ideia de um veículo trafegando no meio da rua.

Com a volta dos trilhos nas últimas décadas, traz consigo o ressurgimento de um velho conhecido das cidades – os bondes – como era chamado antigamente. Com a remodelação e adequação aos novos tempos a tecnologia, o antigo bonde agora batizada de Veículos Leves Sobre Trilhos – VLT vem conquistando espaço no transporte urbano de passageiros (ANTPTrilhos, 2014; BRT, 2008). Com a implantação desse modal significa-se mais espaço para os pedestres, pois esses trens têm baixo impacto ambiental, já que são veículos elétricos adaptáveis a qualquer região, como mostra a Figura 2.3.



Figura 2.3: Perspectiva de uma das estações do VLT no canteiro central da avenida W3 Sul
 Fonte: Maroja *et al.*, 2014

O VLT é composto por um mínimo de 2 (dois) e um máximo de 4 (quatro) carros como mostra a Figura 2.4, podendo ser articulado ou biarticulado (Alouche, 2012). Para o padrão da Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU 2014, a velocidade máxima de operação para os VLTs urbanos é limitada em 80 km/h e para os regionais em 110 km/h e dependendo do grau de segregação existente e de acordo com a tecnologia adotada, pode atender a uma demanda entre 15.000 e 30.000 pess/h/sentido conforme Figura 2.5. A normatização CBTU assegura ainda características de conforto térmico e acústico das composições e também a climatização dos seus ambientes.



Figura 2.4: Composição do Veículo leve sobre Trilhos
 Fonte: Alouche, 2012.

Comparado com outros meios de transportes urbanos, o VLT que tem a capacidade de transportar de 15 a 30 mil passageiros no horário de pico, exalta sua capacidade acima de

todas as variedades de ônibus, e abaixo do metrô leve e do metrô pesado, como pode ser observado na Figura 2.5 a seguir:

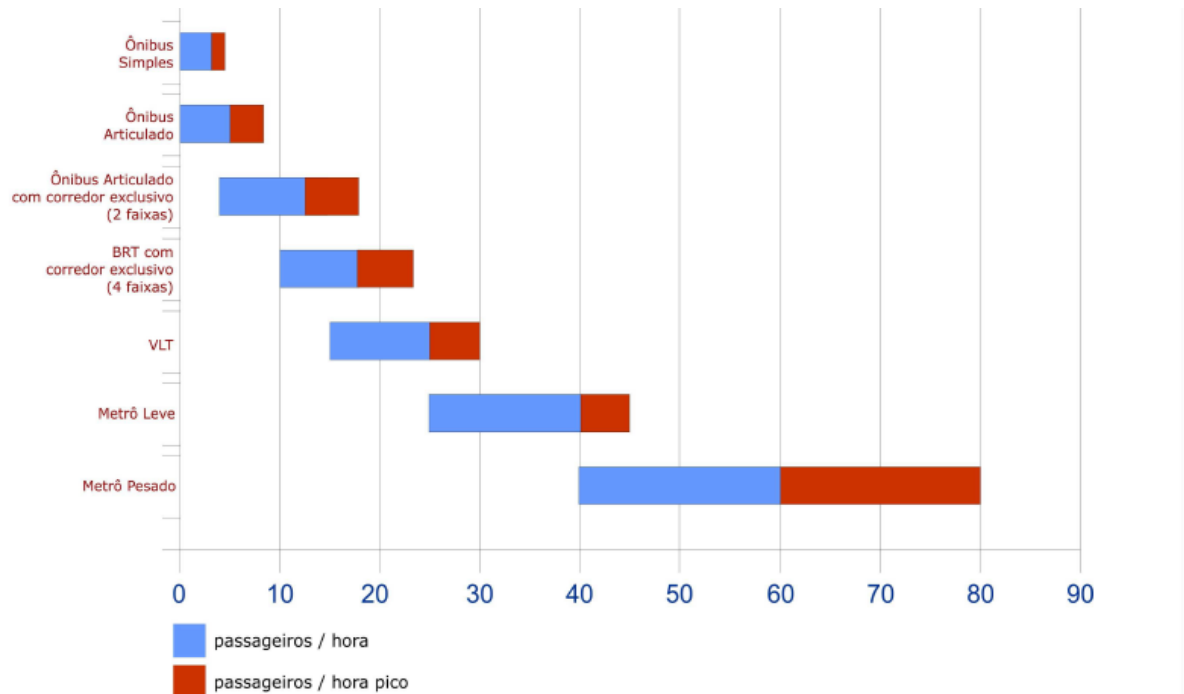


Figura 2.5: Demanda de Passageiros dos Modais de Transportes
Fonte: Alouche, 2012

De acordo com o CBTU 2014, os VLTs possuem características técnicas e operacionais que garantem o bom desempenho tanto em vias férreas segregadas, quanto em meio ao tráfego rodoviário urbano, tendo uma capacidade de transporte de pessoas equivalente ao de 10 ônibus, com capacidade para transportar 600 passageiros, conforme a Figura 2.6 que faz a relação de equivalência de capacidade do VLT, do carro individual e o ônibus não articulado.

Para transportar a mesma quantidade de pessoas em carros particulares são necessários 150 carros com 9 faixas para a sua operação, essa mesma quantidade de pessoas transportada em ônibus é preciso de 10 ônibus com 3 faixas, como pode-se observar na Figura 2.6.



Figura 2.6: Relação de equivalência de capacidade do VLT, do carro individual e o ônibus não articulado.
Fonte: Alouche, 2012.

Segundo o Centro de Estudos Sobre as Redes de Transportes (MEDDE, 2012), da França, informa que o VLT tem custo de investimentos da primeira linha estimado em 13 a 22 milhões de euros por quilômetro. Cada vagão custa entre 1,8 e 3 milhões de euros, enquanto o custo da operação fica entre 6 e 10 Euros por quilômetro. Lerner 2009, afirma que no Brasil, a implantação da rede do VLT em 40 milhões de reais por quilômetro. A tabela 2.2 apresenta a comparação dos custos do VLT com outros meios de transportes.

Tabela 2.2: Comparação dos investimentos do VLT com os outros meios de transportes

ETAPAS	METRÔ		VLT		BRT		CONVENCIONAL	
	Prazo (anos)	Custo (R\$ milhões)	Prazo (anos)	Custo (R\$ milhões)	Prazo (anos)	Custo (R\$ Milhões)	Prazo	Custo (R\$ Milhões)
Projeto Básico	1	4,5	1	1,5	0,5	0,3	-	-
Financiamento	2	0,5	2	0,5	0,5	0,2	-	-
Projeto Executivo	1	5,0	1	2,0	0,5	0,5	-	-
Implantação	5	2.000,00	2	400	1	110,0	1	55,0
Total	9	2.010,00	5	404,0	2,5	111,0	1	55,0

Fonte: Alouche, 2012.

Notas: Exemplo para implantação de corredor com 10,0 km para 150 mil passageiros/dia.
Custos por km: Metrô= R\$ 201,0 milhões / VLT= R\$ 40,4 milhões / BRT = R\$11,1 milhões.

Em relação à infraestrutura, os investimentos no VLT são maiores em relação ao BRT e ao considerar as externalidades, que tem em média 30 anos de vida útil, o Metrô Leve e o VLT têm menor custo por passageiro transportado. Em relação ao BRT tem custo por km construído aproximadamente igual a dois terços a menos que o VLT, e seu impacto no desenvolvimento local não toma a mesma proporção que a do caso do VLT. Em relação às emissões ambos os modos obtiveram um melhoramento ao longo do tempo (Alouche 2006; Hodgson *et al.*, 2013).

Com todas essas vantagens, em um estudo feito pela CBTU, foram identificadas outras vantagens e também algumas desvantagens que precisa ser analisados em relação ao sistema de VLT, como pode observar na Figura 2.7 a seguir:

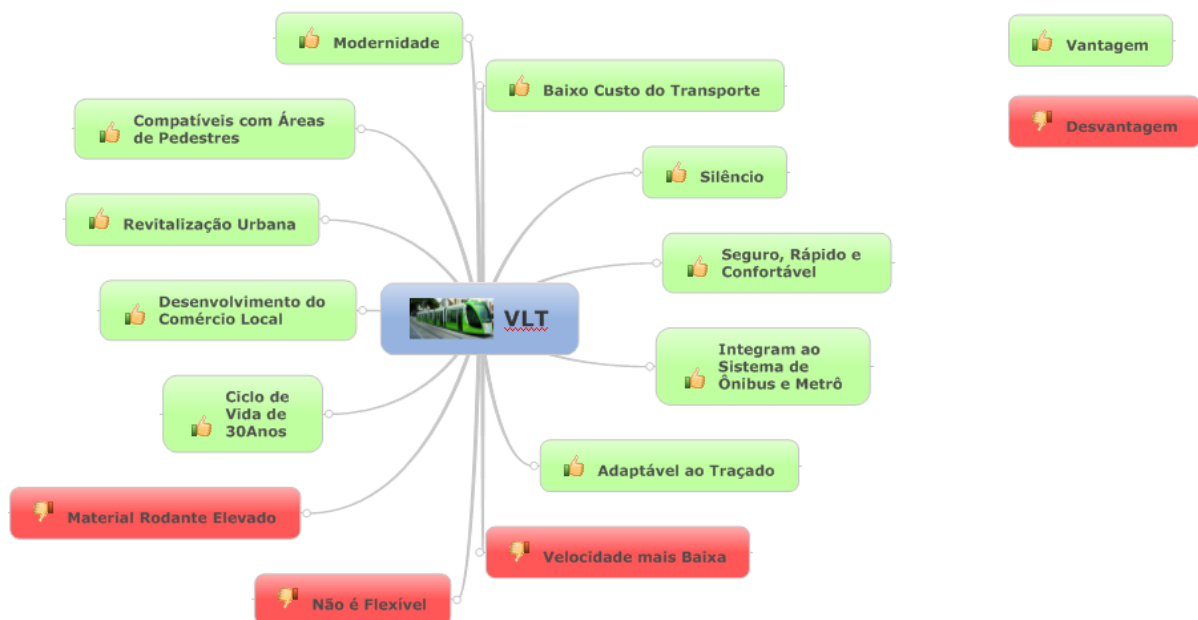


Figura 2.7: Vantagens e Desvantagens do VLT

Outra capacidade do VLT é a de trafegar no mesmo nível do terreno e de ter em suas paradas, piso rebaixado, que pela norma da CBTU, somente os veículos urbanos devem ter piso baixo e possui sistemas de amortização e absorção de ruídos e vibrações garantindo não apenas acessibilidades de todos os passageiros, mas também um baixo impacto sonoro tanto na sua implantação quanto na operação.

Hoje em dia, o VLT opera em mais de 400 cidades pelo mundo e em outras sessenta estão em fase de implantação do sistema. O VLT está concentrado principalmente em importantes cidades da Europa e dos Estados Unidos, que se torna uma alternativa que

opera numa classificação de média capacidade, alimentado por energia elétrica ou diesel, com qualidade de serviço e atendimento ao crescimento da demanda (Grupo CCR, 2012; Rodrigues *et al.*, 2011). A seguir será apresentado o projeto de implantação do VLT em Brasília – DF.

2.3.1.1 Projeto de Implantação do VLT de Brasília

A construção do VLT é um dos projetos importantes de mobilidade urbana prevista para Brasília em função da Copa do Mundo de 2014 (Maroja *et al.*, 2014). Oficialmente o projeto do VLT de Brasília tornou-se público na licitação Nº 01/2007, realizado pela comissão especial de licitação da Companhia Metropolitana do Distrito Federal. A modalidade de concorrência, tipo “Técnica e Preço”, tinham como objetivo a contratação de serviços especializados para elaboração de projeto básico de engenharia com vistas à implantação de sistema sobre trilhos de transportes de passageiros na avenida W3/ligação aeroporto (Castro, 2011).

Porém, devido a várias irregularidades, em 08 de fevereiro de 2008 o Tribunal de Contas do Distrito Federal – TCDF no processo nº 2029/08 solicitou a suspensão do certame para correções do documento, pois não atendia as normas de aprovação formal pelo Instituto Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN e Secretaria de Estado e Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SEDUMA, este último, a partir de 2011 passa a ser chamado de Secretaria de Estado de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano – SEDHAB.

Devido a essas constantes irregularidades e paralisações nas obras por parte do IPHAN e do próprio TCDF, no início de 2011 o Tribunal de Justiça do DF anulou a concorrência do projeto e em dezembro do mesmo ano o processo de licitação foi cancelado definitivamente pela 1ª Turma Cível do Tribunal de Justiça do Distrito Federal, alegando fraudes no processo de licitação.

Deve-se observar que o PDTU 2010 registra-se a escolha deste modal como os objetivos de: (i) desafogar o fluxo de veículos; (ii) incrementar o sistema público de transporte da região para diminuir o ruído ambiental que tem como fonte principal o fluxo veicular; (iii)

melhorar a qualidade e eficiência dos serviços ofertados aos usuários; (iv) modernizar o sistema de transporte local; (v) oferecer ao cidadão um transporte seguro e de qualidade, e por fim, (vi) a revitalização da W3 S/N.

Com a aprovação da Lei Distrital 4.566, que definiu as diretrizes e as políticas estratégicas para a gestão dos transportes urbanos no âmbito do Distrito Federal – DF, juntamente com o PDTU 2010, o projeto foi aprovado para realizar a ligação do trecho que ligará o Aeroporto e o Terminal da Asa Norte – TAN, e na via W3 Sul e Norte, a implantação da via exclusiva para o VLT e tratadas todas as interseções, para garantir a operação deste sistema, mantendo-se três faixas para o tráfego geral como pode ser observado na Figura 2.8. O sistema do VLT será operado pela Companhia do Metropolitano do Distrito Federal (METRÔ – DF, 2013; PDTU, 2010).

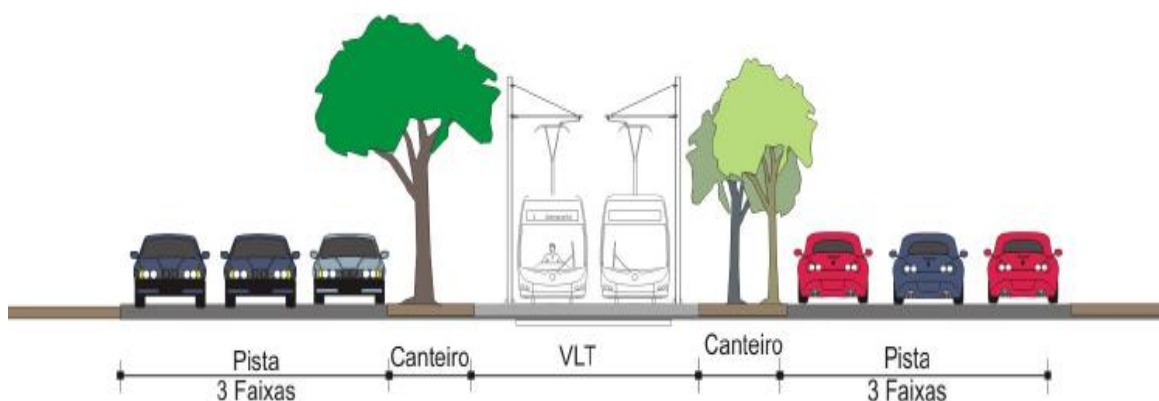


Figura 2.8: Seção esquemática da W3 com o VLT.
Fonte: PDTU, 2010.

A escolha do VLT na região dos eixos centrais de Brasília se deu do fato de se tratar de regiões com elevado índice de densidade populacional e com número elevado de deslocamento diário entre si, e por ser vista como um processo de tomada de decisão com vários atores, onde a decisão correta exige o envolvimento de uma vasta gama de peritos e das partes interessadas (De Bruijn e Veeneman, 2009). No caso particular dos bairros Asa Sul e Asa Norte, devem-se considerar as exigências relativas ao fato do Plano Piloto de Brasília ser patrimônio cultural da humanidade (Unesco, 1987).

Com a implantação do futuro trem que totaliza uma extensão de 22,6 km com 25 estações distribuídos pela linha 1, o VLT espera atender uma demanda de 12.000 passageiros/hora sendo o investimento previsto em R\$ 1,6 bilhão aplicado em 3 etapas (Metrô – DF, 2013):

- Trecho 1 (Etapa 1): Trecho entre o Terminal da Asa Sul - TAS até a Estação do Setor Comercial Norte – SCN com 8,7 km de extensão e 11 estações no valor de R\$ 693 milhões, intervalo de 4 minutos;
- Trecho 1 (Etapa 2): Trecho entre a Estação do Setor Comercial Norte – SCN e o Terminal as Asa Norte – TAN com 7,5 km de extensão e 10 estações no valor de R\$ 491 milhões, intervalo de 4 mim;
- Trecho 1 (Etapa 3): Trecho entre o Aeroporto Internacional de Brasília – AIB e o Terminal da Asa Sul – TAS com 6,5 km de extensão e 4 estações no valor de R\$ 174 milhões, intervalo de 11 minutos.

O Trecho 2 que será implantada posteriormente fará uma ligação de todo Eixo Monumental, e ligará vários pontos turísticos da cidade, como a Praça do Três Poderes, Esplanada dos Ministérios, Torre de TV, Estádio Mané Garrincha e o Memorial JK, com 7 estações distribuídos em um percurso circular de aproximadamente 6,3 km, como mostra a Figura 2.9, que demonstra o traçado da Linha 1 juntamente com a Linha 2 . Porém, esta linha ainda encontra-se em estudos pelos especialistas.



Figura 2.9: Traçado previsto para o VLT
 Fonte: Santos *et al.*, 2009. Adaptado pela Autora.

Cada veículo irá medir 44 metros e tem 2,65 metros de largura com capacidade de transportar até 570 passageiros por veículo, e o sistema terá capacidade de transportar até 120 mil passageiros por dia, com velocidade comercial de 30 km/h a 70 km/h. O tempo de espera em cada estação será entre três e quatro minutos.

Dessa forma, o VLT será implantado em uma área de grande impacto e demanda por diversos serviços, como escolas, hospitais, centros comerciais, shopping, serviços públicos, hipermercados, universidades, e áreas residenciais, concentrados na W3 Norte/Sul, (área de estudo) que atendem uma estimativa de volume de carregamento elevado da ordem de 10 a 12 mil passageiros, respectivamente no horário de pico, transportados pelo transporte público urbano. A concentração de diversas atividades nas suas áreas lindeiras faz da W3 N/S uma via de notória importância para os habitantes do Distrito Federal que buscam realizar suas atividades em Brasília (PDUT/DF-2010).

A área de estudo está localizada no centro da Região Administrativa de Brasília – DF, chamada de Avenida W3, localiza-se ao longo dos eixos estruturais do Plano Piloto com localização simétrica, conhecida como Asa Sul e Asa Norte, ambas tombada pela UNESCO. Cada uma dessas avenidas possui aproximadamente uma extensão de 6 km, totalizando 12 km. A oferta espacial de TPU na avenida W3 Sul é melhor do que na avenida W3 Norte, pois o eixo do Metrô - DF é paralelo à avenida W3 S, a uma distância de 700 metros (Santos *et al.*, 2009). A sigla “W3” representa a terceira via a oeste do eixo rodoviário central da cidade. O trecho da avenida W3 S/N, objeto deste trabalho, será detalhada no tópico a seguir.

A Avenida W3 N/S é importante para a região central por fazer ligações direta ou indireta a todas as Regiões Administrativas (RA's) do Distrito Federal (GDF, 2007). Os Polos Geradores de Viagens - PGV com o Plano Piloto estão distribuídos em cinco eixos que convergem predominantemente para a área central de Brasília: (1) Eixo Oeste: Corredor Taguatinga/Ceilândia/Samambaia/Brazlândia/Guará; (2) Eixo Sul: Corredor Gama/Santa Maria; (3) Eixo Norte: Corredor Planaltina/Sobradinho; (4) Eixo Leste: Corredor São Sebastião/Paranoá; e (5) Eixo Sudoeste: Corredor Núcleo Bandeirantes/Recanto das Emas/Candangolândia/Riacho Fundo.

No projeto do VLT o maior trajeto está na W3 N/S que concentra diversas atividades próximas e implica num grande fluxo de pessoas que passam por essa avenida para chegar a seus destinos.

2.4 AVENIDA W3 SUL E AVENIDA W3 NORTE

2.4.1 Avenida W3 Sul

O trecho da avenida W3 Sul como mostra a Figura 2.10, apresenta um perfil duplicado com três faixas de rolamento em cada sentido, estacionamentos e retornos no canteiro central que atendem tanto do lado leste as quadras 500 como do lado oeste as quadras 700 (Brandão, 2009).

As quadras 500, representadas pela sigla CRS – Comerciais Residenciais Sul são quadras organizadas em blocos onde as edificações nos lotes podem ter até três andares, sendo o térreo ocupado exclusivamente com lojas. Os andares superiores abrigam tanto residências quanto comércio. O acesso principal das edificações ocorre pela avenida W3 e no lado oposto o acesso de serviço é realizado pela via W2. Em seguida a avenida W2, está localizada as quadras 300, representadas pela sigla SQS – Super Quadra Sul caracterizadas por edifícios residenciais de seis andares distribuídos em espaço amplamente arborizado.

Já as Quadras 700 fazem parte do Setor de Habitações Individuais e Germinadas Sul (SHIGS), composto por lotes de tamanhos variados, destinados a residências unifamiliares geminadas, onde o gabarito permite no máximo dois pavimentos.



Figura 2.10: Avenida W3 Sul

2.4.2 Avenida W3 Norte

A W3/N é uma das áreas que compõem o Plano Piloto de Brasília (junto com a W3/S). A W3/N também apresenta uma avenida duplicada com três faixas de rolamento em cada lado, porém não apresenta estacionamento na área central e sim retornos que atendem o lado leste das quadras 500 como do lado oeste favorecendo quem passa pelas quadras 700 (Brandão, 2009).

A W3/N é uma Avenida comercial e residencial, Figura 2.11, o acesso principal das edificações comerciais nas 500 e 700 que são representadas pelas siglas CRN - Comercial Residencial Norte ocorre pela própria W3. Já nas quadras 300 representadas pelas siglas SQN - Super Quadra Norte apresentam edificações residenciais de seis andares em áreas amplamente arborizadas. Nas comerciais das quadras 300 apresenta edificações mistas que servem tanto para o funcionamento do comércio como para a moradia, sendo este último com entrada principal na parte de trás do prédio.



Figura 2.11: Avenida W3 Norte

De acordo com a análise realizada na área um dos motivos que levou a redução no desempenho da W3 como avenida de grande importância para as atividades, foi o favorecimento da circulação de passagem em detrimento da acessibilidade, principalmente depois da inauguração do viaduto do Eixo Monumental em 1976, além da pouca oferta de vagas de estacionamento em relação ao crescimento da frota de transporte individual.

Diante da análise realizada, conclui-se que a acessibilidade feita por transporte coletivo no Plano Piloto é maior no sentido leste/oeste, já na avenida W3 está servida com 150 linhas e 800 ônibus/dia circulando diariamente, além de 60 mil carros/dia. Porém, sabemos que estas linhas, provavelmente, não oferecem as opções de trajeto necessárias ao atendimento das necessidades dos usuários, o que faz recorrer ao transporte individual, e com isso aumenta a dificuldade para encontrar estacionamento (Menezes, 2008).

Esta situação, que vem se agravando a partir dos anos 80, tem recebido críticas e causando insatisfação de moradores, comerciantes e consumidores. Em vista disto ficou claro a necessidade de revitalização da Avenida W3 considerando-se que ela desempenhou papel significativo na vida da cidade fazendo parte da memória coletiva como um espaço outrora preferido para encontros, consumo e convivência.

2.5 MEIO AMBIENTE

No que se refere ao conceito de meio ambiente, até o ano de 1981, não possuíamos um conceito legal à sua definição, porém, com o advento da Lei 6.938/81 - Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, que surge com o objetivo de suprir tal deficiência, define Meio Ambiente como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. A partir deste conceito, outras definições referentes ao Meio Ambiente surgiram conforme apresentado na Tabela 2.3:

Tabela 2.3: Definição de Meio Ambiente

Autores	Definição de Meio Ambiente
Grinover (1989)	É um jogo de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos) e as práticas sociais produtivas do homem.
CONAMA (2000)	Meio Ambiente é o conjunto de condições, leis, influencia e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abrigam e regem a vida em todas as suas formas.
Fogliatti et al (2004)	Conjunto de elementos constituído pelas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, subsolo, flora, ar, fauna e comunidades humanas e os seus inter-relacionamentos.
Donato (2008)	Envolve um conjunto de elementos ou fatores articulados em que os indivíduos e as comunidades humanas vivem e, ainda, abarca de modo mutante e permanente os seres vivos.

De acordo com as definições citadas, justifica-se estas preocupações com o meio ambiente como, por exemplo: (i) o crescimento das emissões de gases na atmosfera, cujo aumento provoca o aquecimento da temperatura na Terra e prejudica a saúde humana; (ii)

preocupação com a poluição sonora que tem sido uma das grandes reclamações em órgãos públicos relacionados ao meio ambiente, o que torna um maior desafio para os especialistas relacionados ao tema, pois no Brasil o ruído não tem sido considerado pelas políticas de planejamento urbano como na Europa que realiza o estudo de ruído ambiental há várias décadas em cidades acima de 250 mil habitantes deste 2007 (Alves *et al.*, 2014).

No Brasil, o relatório mais completo sobre a poluição do ar é realizado pela CETESB – SP que avalia e divulga para a população a qualidade do ar com as contribuições das várias fontes de poluição do ar como pode observar na Tabela 2.4:

Tabela 2.4: Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na região Metropolitana de São Paulo em 2013.

CATEGORIA	POLUENTES (%)				
	CO	HC	NO _x	MP10	SO _x
Automóveis	65,03	53,92	14,12	1,49	22,27
Comerciais Leves	7,20	6,04	4,52	1,77	4,26
Caminhões	3,64	3,57	37,28	21,03	7,80
Ônibus Urbano	1,83	1,86	18,61	11,65	0,63
Ônibus Rodoviários	0,42	0,44	4,34	2,71	0,87
Motocicletas	18,85	10,92	0,99	1,35	63,22
Operações de Processos Industriais	3,03	13,49	20,14	10,00	-
Outras	-	9,76	-	50,00	-
Total	100	100	100	100	100

Fonte: CETESB, 2013

De acordo com a avaliação comparativa entre as externalidades, percebe-se que poluição sonora provocada pelo tráfego rodoviário é citada por todos os autores como sendo uma das fontes que mais incomodam a população nos dias de hoje. Isso ocorre devido ao controle deficiente por parte dos órgãos de controle ambiental. Assim, à medida que a cidade cresce as externalidades mudam de posição, assim, como apontam a Tabela 2.5, que no ano de 1996 a poluição sonora estava em sétimo lugar, já em 2011 este passa a ocupar a segunda posição, o que o torna mais perceptível ao ser humano a cada ano.

Quadro 2.5: Impactos Relacionados aos Transportes

Verhoef (1994)	Litman (1996)	Litman (2006)	ANTP (2011)
Congestionamento	Acidentes	Congestionamentos	Energia
Acidentes	Congestionamento	Acidentes de trânsito	Poluição Sonora
Poluição do ar	Estacionamento	Poluição sonora	Poluição do ar
Ruído	Uso do solo	Poluição atmosférica	Congestionamentos
Estacionamento	Valor da terra	Degradação da paisagem	Acidentes
Recursos naturais	Poluição do ar	Degradação da qualidade de vida	
Lixo	Ruído		
Efeito “barreira”	Recursos naturais		
Impacto visual	Efeito “barreira”		
Perturbação do tráfego	Poluição da água		

Fonte: IPEA 2003 adaptado pela Autora

De acordo com as externalidades citadas pelos autores na Tabela 2.5, nas últimas décadas, a poluição sonora tem se tornado um problema constante no dia a dia da população. Devido a essa gravidade tem exigido cada vez mais soluções para controlar o problema, pois a exposição contínua e o excesso de ruídos elevados afeta direta e indiretamente todos os aspectos da saúde e do bem-estar dos cidadãos o que contribui até para a perda auditiva (Marques *et al.*, 2015).

2.5.1 Impactos Ambientais

Segundo Flogliatti (2004), Impacto Ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, provocada direta ou indiretamente por atividades humanas, podendo afetar a saúde, segurança e/ou a qualidade dos recursos naturais.

No meio ambiente natural podem ser verificados impactos físicos e/ou biológicos. Como exemplos de impactos ambientais, dentre aqueles provocados por projetos de transporte podem ser citados: poluição do ar, ruído, intrusão visual, uso e recuperação do solo, alterações climáticas, efeitos sobre os solos, entre outros.

Assim, na implantação de novas infraestruturas de transporte os impactos no meio ambiente ocorrem de maneira diferenciada nas distintas fases: planejamento, projeto,

construção e operação. Basicamente pode-se dizer que os transportes podem prejudicar o meio ambiente em três etapas (Geipot, 1992) conforme a Tabela 2.6 abaixo:

Tabela 2.6: Impactos ambientais

ETAPAS	IMPACTOS AMBIENTAIS
Implantação da Infraestrutura	Através da construção de vias, terminais, etc. essa etapa é a que mais sacrifica o meio físico e a população, pois exige áreas maiores que a própria obra, alterando a paisagem natural e provocando eventuais bloqueios e passagens em áreas urbanizadas.
Obtenção de Insumos	Através de material para a construção, como por exemplo, o asfalto. Esta etapa sacrifica mais o meio físico, pois retiram recursos naturais, o que leva a alterar a paisagem natural, podendo provocar uma intrusão visual.
Operação do sistema de transportes	Onde se utiliza combustíveis, pneus etc, tendo-se como resultado os ruídos, vibrações, poluição do ar, da água, do solo, problemas de segurança e da intrusão visual etc. Essa etapa deflagra os efeitos mais duradouros, tanto os positivos como os negativos.

Fonte: GEIPOT, 1992

Em cada uma das três etapas, os diferentes constituintes do meio ambiente são impactados em maior ou menor grau, em função do tipo e do porte do projeto de transporte que se deseja implementar, bem como das características ambientais da região na qual o mesmo será inserido. No entanto, cada modal de transporte apresenta características particulares no que se refere às atividades desenvolvidas e como consequência os impactos gerados em suas distintas etapas podem ser diferentes.

3 RUÍDO AMBIENTAL

3.1 APRESENTAÇÃO

O ruído representa um dos principais problemas ambientais das grandes e médias cidades, pois estão associados ao crescimento acelerado das cidades e o aumento da circulação de veículos. A poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas, reduzindo cada vez mais a qualidade de vida da população que habita essas cidades (Zannin, 2011; Who 2011).

As fontes de emissão de ruídos indesejáveis em centros urbanos são encontradas em várias fontes como, bares, Restaurantes, clubes, indústrias, construções, mas o que prevalece é o tráfego rodoviário, aéreo e ferroviário. Em geral, o tráfego de veículos é a principal fonte ruidosa na região central das metrópoles (Zannin *et al.*, 2002; Gerges, 2004).

Essas fontes por sua vez, causam poluição sonora quando os níveis de sons ou ruídos emitidos alcançam valores que estão em desacordo com a legislação e o que causa prejuízo à saúde e ao sossego do homem. No Brasil, a NBR 10.151 estabelece níveis de ruído de até 55 dB para ambientes externos de áreas predominantemente residenciais durante o período diurno e para áreas comerciais de 60 dB.

3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS

3.2.1 Normas Internacionais

As leis que regulamentam o ruído em áreas urbanas utilizam métodos de medição variada e, dependendo do país, estabelecem diferentes níveis de ruído para várias situações. O tráfego rodoviário é a mais generalizada fonte de ruído em todos os continentes e a mais prevalente causa de incômodo. Portanto, a redução do ruído de tráfego tem grandes prioridades.

Os limites de ruído do tráfego rodoviário nos centros das cidades, em alguns países, variam ao longo do dia e da noite conforme as normas estabelecidas de cada localização. Segundo Bruel e Kajaer 2000, com base nos dados de alguns países selecionados como mostra a Tabela 3.1, mostra que na França apresenta o limite mínimo estabelecido em relação ao ruído.

Tabela 3.1: Limites dos Níveis de Pressão Sonora de Tráfego Rodoviário

LIMITES DE RUÍDO DE TRÁFEGO			
PAÍS	INDICE	LIMITE DIURNO	LIMITE NOTURNO
Austrália	L10, 18h	60	55
Austria	LAeq	50-55	40-45
França	LAeq	60-65	55-57
Alemanha	Lr	50-55	40-45
Espanha	LAeq	60	50
Suíça	Lr	55	45
Estados Unidos	LAeq	55	42
Brasil	Lden	55	50

Fonte: Bruel e Kajaer, 2000

Desde os anos de 1980, nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental estabeleceu critérios para proteger a saúde e o bem estar nas comunidades, enquanto a Organização Mundial da Saúde, só publicou algumas recomendações nesse sentido de proteger a saúde e o bem estar da população apenas a partir de 1993.

Em 1998, a Comissão da União Europeia criou uma rede de profissionais na área de ruído para prestarem assistência no desenvolvimento de uma política de ruído. Em 2002, o Parlamento Europeu e o Conselho adotaram a Directiva Europeia de Ruído Ambiental (Directiva 2002/49/EC), que foi um passo significativo para o controle do ruído urbano, obrigando os membros da União Europeia a produzirem mapas estratégicos de ruído para todas as aglomerações com mais de 250.000 habitantes (King *et al.*, 2011; Barreto, 2008).

3.2.2 Normas Brasileiras

Nas últimas décadas, o ordenamento jurídico nacional vem enfatizando a necessidade de conservação do meio ambiente mediante normas, leis e regulamentações que procuram

controlar as intervenções humanas e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida da comunidade, que está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos pela poluição sonora que aumenta a cada ano.

A legislação ambiental brasileira, nos níveis federal, estadual e municipal tem enfatizado nas últimas décadas, a necessidades de conservação do meio ambiente e, conseqüentemente, uma melhora na qualidade de vida da população, quando estabelecem normas e leis que regulamentam e buscam intervenções humanas (Ventura *et al.*, 2008).

No que se refere ao Brasil, em cidades ou Estados que não possui Normas e Leis para o ruído ambiental, temos como referência para essa avaliação, a Norma Brasileira Técnica – NBR 10.151/2000 a qual é citada pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 001 de 08 de março de 1990, lembrando que essa Norma pode sofrer mudanças a qualquer momento, pois se encontra em análises para futuras alterações.

3.2.2.1 NBR 10.151

A NBR 10. 151 (ABNT, 2000) intitulada “Acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”, tem como objetivo fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído e um método para avaliação a partir do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em dB(A) e estabelece os limites máximos que deverão ser observados nos períodos matutino, vespertino e noturno na área urbana e rural.

A norma referida define níveis de critérios de avaliação para ambientes externos, de acordo com as atividades predominantes em determinada área, como pode ser observado na Tabela 3.2 a seguir:

Tabela 3.2: Nível Máximo de Pressão Sonora Permitido no Ambiente Externo

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.

3.2.2.2 Resolução CONAMA N° 01/1990

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n° 001/90 estabelece critérios, padrões, diretrizes e normas que regulam a poluição sonora e define que são considerados prejudiciais à saúde e ao sossego público os níveis de pressão sonora superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2000). Esta norma estabelece um padrão de qualidade ambiental sonora para atividades industriais, comerciais, sociais ou mesmo recreativa, inclusive as de propagandas políticas.

A resolução ainda dispõe que os ruídos em níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151/2000, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT são prejudiciais à saúde e ao sossego público.

3. 2.2.3 Legislação Distrital – Brasília, DF

Atualmente, as grandes cidades brasileiras, possuem leis que regulamentam a questão da poluição sonora urbana, sendo que algumas dessas leis apresentam diferentes métodos de análise ambiental, bem como se diferem na punição dos infratores.

No caso da cidade de Brasília – Distrito Federal, em 30 de janeiro de 2008 foi instituído a lei N° 4.092/2008 que “*Dispõe sobre o controle da poluição sonora e os limites máximos de intensidade da emissão de sons e ruídos resultantes de atividades urbanas e rurais no Distrito Federal*”.

Essa Lei fixa os níveis máximo de ruídos permitidos em diversas áreas do Distrito de Brasília, como também no seu entorno. O nível máximo de pressão sonora permitido em ambientes internos e externos e os métodos utilizados para sua medição e avaliação são os mesmos estabelecidos pela ABNT NBR 10.151.

3.2.2.4 Câmara Municipal de São Paulo Lei 01-00075/2013

Existe a iniciativa na cidade de São Paulo, onde o projeto de lei 01-00075/2013 prevê a elaboração de um Mapa de Ruído Urbano da Cidade de São Paulo com a finalidade de

conscientizar a população dos efeitos do ruído sobre a saúde, identificar as principais fontes de emissão de ruído, fomentar o uso de novas tecnologias para mitigar as emissões, difundir campanhas educativas sobre fontes de emissão e suas responsabilidades, entre outras.

Segundo os assessores dos gabinetes responsáveis pelo projeto, o Mapa de Ruído é uma ferramenta que vai conscientizar a população dos efeitos do ruído sobre a saúde; identificar as principais fontes de emissão de ruído; fomentar o uso de novas tecnologias para mitigar as emissões; difundir campanhas educativas sobre as fontes de emissões e suas responsabilidades; fixar ao Poder Público Municipal o Plano de Ação para Redução de Ruído, considerando as respectivas zonas de uso definidos pelos órgãos competentes; estabelecer Zonas de Tranquilidade mediante qualquer risco de aumento de níveis estabelecidos pela Legislação vigente e realizar Consultas Públicas junto à população.

3.5 AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO

A avaliação dos impactos ambientais acústicos consiste na medição do ruído ambiental através da simulação computacional e/ou medições sonoras em campo e cujos resultados são apresentados por meio de mapas de ruídos (Maia *et al.*, 2003; Pinto & Mardones, 2010; King & Rice, 2009; Bunn, 2013; Costa & Lourenço, 2010).

A simulação computacional é realizada por meio de um software em que são inseridos vários dados de entrada e que, após o tratamento, resultam em um modelo representativo da condição existente ou futura dos níveis de ruído na área de interesse. Tendo em vista o ruído proveniente do tráfego de veículos, alguns dados de entrada podem ser citados, como: dados topográficos, distribuição de edificações presentes na área analisada, tipo de condição do pavimento das vias, fluxo de veículos, entre outros. Como ferramenta de análise acústica, de forma a avaliar os impactos da Poluição Sonora, têm-se os mapas de ruídos e o mapeamento sonoro, que será apresentado detalhadamente a seguir (Kang, 2007; King & Rice, 2009; Bunn, 2013; Zannin & Sant'ana, 2011; Guedes *et al.*, 2011).

3.5.1 Mapeamento Sonoro

Nos dias de hoje existem uma série de ferramentas comerciais que podem ser utilizados para desenvolver mapas estratégicos de ruído para satisfazer os requisitos da Diretiva 2002/49/CE. Estes mapas devem ser apresentados de uma forma clara, compreensível e acessível ao público sendo o principal instrumento contra o ruído ambiental (King *et al.*, 2009; Asenio *et al.*, 2011).

De acordo com a Diretiva 2002/49/CE, Mapa de Ruído pode ser definido como uma apresentação de dados sobre uma situação de ruído existente (atual) ou predita em termos de um indicador de ruído, que mostra as violações de qualquer valor limite pertinente em vigor, o número de pessoas afetadas ou o número de habitantes expostas a determinados valores de um indicador de ruído em uma determinada área.

Assim, O mapeamento sonoro é uma ferramenta fundamental para o estudo de ruído ambiental. Baseado no levantamento dos níveis de ruído de uma cidade, através da medição e do uso do método predicional, o mapa acústico, nada mais é do que a representação de curvas isofônicas, ou seja, pontos de ruídos com a mesma intensidade, de certa área geográfica. Os diversos níveis de intensidade sonora são separados por zonas com cores padronizadas em trechos de 5 dB (Ventura *et al.*, 2008).

Para King *et al.* 2011, os mapas de ruídos são ferramentas científicas para apresentar de maneira geral e prática os diversos níveis de ruído existente em uma determinada região. Além disso, essa ferramenta permite a visualização do impacto do ruído em cores e aponta quatro fases importantes para efetuar o planejamento acústico de uma cidade ou região, sendo elas: (i) Mapas estratégicos de ruído; (ii) Estimativa da população exposta ao ruído; (iii) Planos de ação; e (iv) Disseminação das informações para o público.

No Brasil, essa ferramenta de mapeamento sonoro ainda é recente para avaliação da situação dos níveis de ruído nas cidades, porém já podemos destacar alguns trabalhos científicos que realizam avaliação do ruído ambiental utilizando como ferramenta os mapas de ruídos das cidades, como pode ser visto no relatório de pesquisa de Moraes (2006) na cidade de Belém; Nardi em Florianópolis 2008; Guedes *et al.*. (2011) cidade de Aracajú; Barretto (2007) em Salvador; Costa e Lourenço 2011 na cidade de São Paulo; Cantieri (2010) em Curitiba e, Pinto e Mardones (2009) na cidade de Rio de Janeiro, em

Brasília realizado por Garavelli *et al.* no ano de 2013 e os mais recentes realizado na Região Administrativa de Brasília foram realizados pelos autores (Melo, 2015; Silva, 2015; Carvalho Jr, 2015).

De acordo com as pesquisas realizadas acima, percebe-se que no Brasil, os estudos de mapeamento acústico têm sido desenvolvidos nos meios acadêmicos e não por iniciativa do poder público, o que torna difícil a realização dos estudos, pois é preciso haver “vontade política”, para que o mapeamento acústico das cidades seja o primeiro passo para o início de um processo de gestão de ruídos urbanos. Apenas a cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, apresenta um programa de mapeamento sonoro por meio da Secretaria do Meio Ambiente.

Dessa forma, Santos & Valado (2004), traz maiores informações sobre as formas de utilização dos mapas de ruído como ferramentas para complementar o planejamento urbano e territorial de uma cidade. Por exemplo, permitem:

- Quantificar o ruído nas áreas de estudo, possibilitando a avaliação da exposição da população a esse ruído;
- Ampliar e disponibilizar a base de dados do município com a localização de atividades ruidosas e de zonas mistas e sensíveis;
- Possibilitar a criação de modelos diferentes com cenários futuros de evolução e realizar a previsão do impacto sonoro de infraestrutura e atividades ruidosas ainda em projeto, em nível municipal, regional ou mesmo nacionais;
- Identificar zonas de conflito entre os níveis de ruído existentes e a classificação da zona, hierarquizando zonas por prioridade de intervenção e estabelecendo um Plano de Redução de Ruído;
- Testar soluções diversas como redução de velocidade ou de volume do tráfego, alteração do tipo de pavimento da uma via, introdução de taludes e vegetação para proteção sonora, introdução de rotatórias no lugar de cruzamentos com semáforos;
- Identificar as principais fontes de ruído para um dado receptor, ou conjunto de receptores, e especificar qual a redução de ruído necessária em cada fonte para atingir um dado nível de ruído total no receptor.

Para que se possa fazer a aplicação da metodologia dos mapas de ruídos, deve-se ter o conhecimento prévio ou identificar os parâmetros da área estudada, como topografia, altura dos edifícios e largura de vias, para servirem de base para a representação correta do efeito físico da propagação e espalhamento (difração) da onda sonora e também a contagem do volume de tráfego.

Assim, hoje se utilizam programas computacionais que simulam o ambiente acústico urbano através do uso de modelos matemáticos de predição, que calculam a propagação do som ao ar livre. Esses modelos são alimentados de dados referentes à potência das fontes emissoras, bem como, da quantidade estimada das mesmas, como o fluxo de veículos de uma determinada via, e características de seu comportamento, a exemplo da velocidade de tráfego dos veículos e características de motorização e porte, dentre outras.

Com relação aos dados de entrada, Nunes e Santos 1998, apud Ferreira 2008, citam algumas características como: (i) fluxo de veículos; (ii) características geométricas das vias; (iii) correções devido à inclinação da pista; (iv) velocidade média dos veículos; (v) porcentagem de veículos leves e pesados, dentre outros.

O modelo Alemão RLS 90, estabelece técnicas específicas, procedentes de medição para a redução de ruído de tráfego rodoviário. Este modelo solicita a inserção de dados em relação ao fluxo de tráfego médio por hora, que faz a diferença entre motocicletas, veículos leves e pesados, tipologia da via, tipo de obstáculos e pessoas singulares. Nesse modelo são levados em consideração os aspectos que interferem na propagação do ruído, como, a vegetação, absorção do ar, reflexões e difração. Sugere a redução do ruído através de barreiras acústicas. Faz avaliação da emissão de som de estacionamento de veículos, levando em conta para o cálculo à distância de 25m a partir do centro da via, em função da quantidade de veículos por hora e a porcentagem de veículos pesados (Quartieri *et al.*, 2009; RLS, 90).

O modelo de cálculo francês NMPB – Routes98 usado para o ruído de tráfego rodoviário leva em consideração os parâmetros como fluxos de tráfego, tipo de veículo (leve e pesado), combinações de velocidade, número de faixas, tipo de pavimento, tipo de

superfície, geometria rodoviária/pavimento, largura e inclinação da via e número de faixas de rodagem relacionados em cada sentido.

No que diz respeito a precisão, considerando os requisitos da CNOSSOS/EU com a finalidade de mapas estratégicos de ruído, apesar de um absoluto valor para o valor de precisão não é procurado, recomenda-se que não exceda 2 dB (Kephalopoulos *et al.*, 2014). Para tratar das vantagens e desvantagens dos modelos de predição de ruído de tráfego rodoviário, elaborou-se a Tabela 3.3:

Tabela 3.3: Vantagens e desvantagens dos modelos de predição de ruído de tráfego rodoviário

MODELO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
RLS-90 (Modelo Alemão)	<ul style="list-style-type: none"> - Trabalhos realizados em Curitiba (ZANIN, 2002), Aracajú (GUEDES, 2005) e Florianópolis (NARDI, 2008) utilizaram o método com sucesso. - Considera em uma mesma equação a contribuição de distintas categorias de veículos, facilitando os cálculos. - Método de cálculo mais simplificado que o NMPB. - Sua utilização implica em menos tempo de computação no mapeamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desconsidera as condições meteorológicas favoráveis à propagação sonora, considerando, apenas, uma situação semelhante ao cálculo de ruído em condições homogêneas da NMPB.
NMPB-Routes-98 (Modelo Francês)	<ul style="list-style-type: none"> - Considera em uma mesma equação a contribuição de distintas categorias de veículos, facilitando os cálculos. - Único modelo que calcula dados de ruído considerando a ocorrência de condições meteorológicas favoráveis à propagação sonora. - Modelo recomendado pela Diretiva (DIRECTIVE 2002/49/EC, 2002) para os Estados-membros que não possuam modelos de predição normatizados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para efeitos do cálculo, o ponto receptor está a um mínimo de 2 metros do solo. - Os resultados da propagação do nível de ruído de uma via são relevantes a até 800 metros de distância da mesma. - O nível de ruído em fachadas é calculado a 2 metros de distância da mesma. - A velocidade mínima do tráfego de veículos, sejam estes leves ou pesados, é de 20Km/h.

Fonte: Souza, 2012

Após considerações dos modelos e das comparações acerca dos métodos de predição de ruído constata-se que o modelo NMPB-Routes-96 com o uso do software SoudPlan considera os efeitos das variáveis climáticas de temperatura e umidade no nível de ruído resultante, além de considerar um percentual de condições meteorológicas favoráveis à propagação sonora no período considerado, trata-se de um método extensivamente validado, considerado modelo interino da União Europeia. Portanto, foi criado um método harmonizado para avaliar a exposição ao ruído na Europa entre os países, a fim de reduzir a poluição sonora, onde necessário, este método é conhecido como o CNOSSOS/UE.

A Directiva Europeia 2002/49/EC exige que os Estados-Membros da União Europeia - UE determine a exposição do ruído através de mapas estratégicos para poder elaborar planos de ação, a fim de reduzir a poluição sonora, assim estabelece uma abordagem comum para avaliar a exposição do ruído ambiente em toda UE, com os indicadores Lden e Lnoite. Após a avaliação do grau de comparabilidade dos resultados gerados pelos diferentes métodos dos mapas estratégicos de ruído demonstrou que em muitos casos, a avaliação apresenta diferenças entre os mapas. Assim não foi possível comparar os mapas com precisão desejada, pois difere em muitos aspectos. Para este trabalho foi utilizado parte dos requisitos do CNOSSOS como: a modelagem das emissões de ruído provocado pelo tráfego rodoviário e ferroviário; atribuir os níveis de ruído a população da região e também foram seguidas as recomendações do CNOSSOS relativas ao uso da norma NMPB para o ruído de tráfego rodoviário e na modelagem do tráfego ferroviário, em conjunto com a norma RMR 2002 (Directiva 2002/49/CE).

O CNOSSOS representa um método harmonizado para avaliar os níveis de ruído a partir das fontes de ruído rodoviário, ferroviário, aéreos, industriais em toda a Europa. Assim, experiências realizadas na Alemanha e na Holanda, verificou-se que a fonte de trem pode ser modelada em qualquer trajeto em uma velocidade máxima de 50 km/h ou menos. Este irá incluir o ruído devido à travagem, poupando esforços na coleta de dados de entrada.

A previsão do ruído ambiental devido aos vários modais de transporte é realizada através de modelos matemáticos de predição de ruído que vêm sendo desenvolvidos desde 1950 (Arana *et al.*, 2010). Muitos países adotam seu próprio modelo e, no caso europeu, a Diretiva 2002/49/EC pelo Parlamento Europeu recomenda a aplicação do modelo francês NMPB Routes-2008 para tráfego rodoviário e para o tráfego ferroviário é usado o modelo RMR/2002 norma Holandesa, na Alemanha são utilizados a norma RLS 90 para o tráfego rodoviário e Schall03 para o tráfego ferroviário. Nos Estados Unidos é usado o *Traffic Noise Model* – TNM para o tráfego rodoviário auxiliando nas políticas e nos procedimentos sob a *Federal Highway Administration* – FHWA, que exige o uso nas estradas federais para a análise de impactos do tráfego rodoviário.

No Brasil não existe um modelo estabelecido, Maroja *et al.*, (2014) em sua pesquisa realizada na RA de Brasília – DF utilizou a metodologia alemã Schall03 para uma

avaliação inicial dos impactos provocados pela implantação do VLT e para a propagação do ruído rodoviário foi usado o RLS 90.

No que se refere à fonte sonora rodoviária Giunta (2013) utilizou em sua pesquisa o modelo francês NMPB Routes-2008 em avaliação do ruído ambiental na cidade de São Carlos – SP. Em trabalho recente da avaliação do ruído ambiental de tráfego veicular em Brasília, Garavelli *et al.* (2013), também utilizou a norma francesa NMPB, norma recomendada na resolução 2002/49/EC.

Nos últimos anos nos países da Europa está em discussão o desenvolvimento de métodos comuns para a avaliação do ruído ambiental (Kephalopoulos *et al.*, 2014). Essa discussão vem acontecendo após a Directiva/2002/49/EC recomendar normas de avaliação, mas muitos estados membros utilizarem modelos nacionais e assim, não é possível fazer uma boa comparação entre os estudos realizados nos diversos países.

3.5.2 Software de Simulação Ambiental

Para este trabalho será utilizado o SoundPlan que é um software desenvolvido pela empresa alemã Braunstein + Berndt GmbH, voltado para análises ambientais, internos e externos, e geralmente são usados para: geração de mapas de ruídos com base em predições a partir de dados reais; identificação de importantes fontes sonoras; proposição e demonstração dos efeitos das soluções adotadas para redução de ruído; hierarquização das fontes sonoras pelo nível de pressão sonora; e, monitoramento e controle do ambiente sonoro de uma área geográfica (Braunstein, 2014).

Segundo Guedes 2005, o software apresenta ferramentas para criação de modelos 3D, com a função de importar e exportar dados, concordância com principais normas internacionais para ruído de estradas, ferrovias, indústrias e aeronaves. Quanto ao procedimento de cálculo para o ruído de tráfego, apresenta modelo que calcula as potências sonoras dos veículos, podendo ser derivadas de dados de tráfego. Para a modelagem acústica no Soundplan é necessário inserir os dados coletados como: medidas acústicas [Leq(A)], dados de tráfego (fluxo, composição de veículos e velocidade média) e geométricos (altura das edificações – muros, largura de ruas e avenidas, canteiros, etc.). Ressalta-se também, o

levantamento de dados meteorológicos (temperatura, umidade relativa e velocidade do vento), para garantir condições atmosféricas semelhantes e adequadas para a realização das medições acústicas.

Para ilustrar a manipulação de dados georreferenciados, a Figura 3.1 que representa um esquema do conjunto de informações geridas por um SIG e que após escolha das informações pertinentes, relacionadas aos dados do modelo de predição de ruído, permitem a obtenção dos mapas acústicos de uma região.

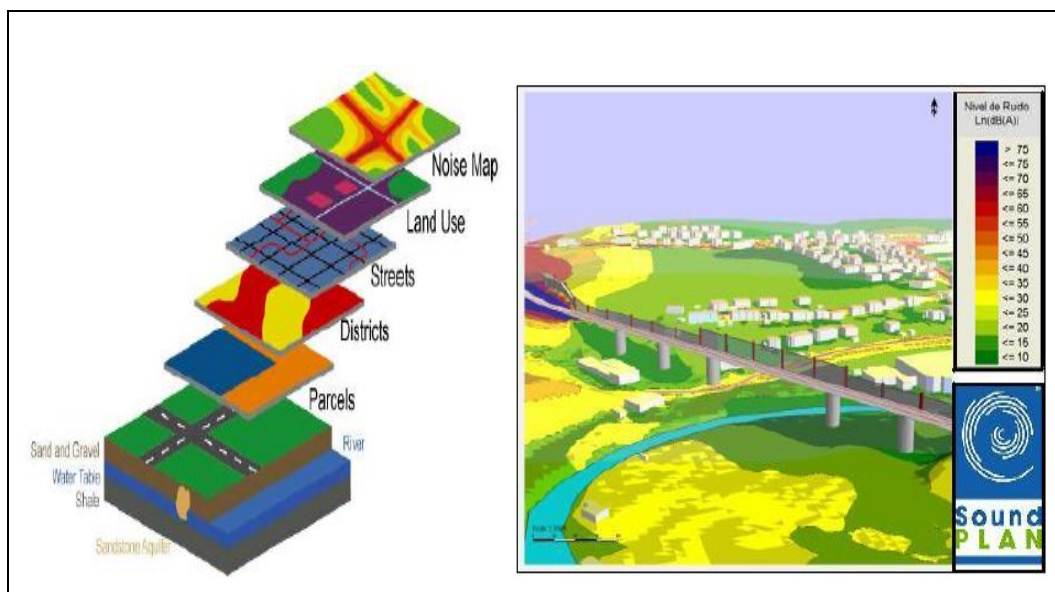


Figura 3.1: Conjunto de Informações Geridas por um SIG
Fonte: Braunstein *et al.*, 2014

O programa de simulação para gerar o mapeamento acústico e, proporcionar a análise da área do ponto de vista acústico, necessita de dados de entrada como: mapeamento físico da área, contagem volumétrica de veículos (leves e pesados), velocidades dos veículos, dimensionamento e tipo de pavimentação das vias, levantamento dos semáforos e áreas verdes (Braunstein *et al.*, 2014).

3.5.3 População Exposta

Para a determinação da população exposta ao ruído ambiental ainda não está estabelecida uma metodologia. Murphy e King 2010 destacam que mesmo na diretiva europeia 2002/49/CE não existe uma regra. Na diretiva a ênfase é dada a exposição das pessoas que vivem nas fachadas das habitações mais expostas ao ruído.

A literatura relata que diferentes métodos têm sido utilizados em estudos de população exposta, como nos trabalhos de Murphy et al., 2009 e Tsai et al. 2009 que estimaram a exposição das populações das cidades de Dublin na Irlanda e Tainan em Taiwan ao ruído do transporte. No Brasil podemos citar o trabalho de Mendonça et al 2013, que analisa a população exposta através de classes de quadras urbanas para determinar a população exposta pelo ruído de tráfego na cidade de São Carlos -SP. Em Brasília, Carvalho *et al.*, 2015, analisou a população exposta através do cálculo obtido com o auxílio do banco de dados do censo de 2010, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE juntamente com o setor censitário por domicílio do Distrito Federal.

No entanto, o método utilizado por Carvalho et al 2015, é a mais compatível entre os métodos mais utilizados para o cálculo da população exposta, pois este método é uma adaptação do VBEB (Licitra, 2012). Entre os métodos mais utilizados pode-se citar: END que avalia a exposição do ruído da população por níveis de pontos de receptores a 4m acima do nível do solo em frente as fachadas dos edifícios; e o método VBEB, avalia os habitantes de um prédio igualmente distribuídos pelos receptores localizados nas fachadas de acordo com as regras estabelecidas no método Alemão e o nível de som incidente é calculada.

3.5.4 Percentual de Pessoas Incomodadas

Para estabelecer uma relação entre um determinado ruído ambiente e sua fonte (aéreo, rodoviário e ferroviário) e a percentagem de pessoas incomodadas foi desenvolvido uma metodologia que se ajuste as medições disponíveis para a avaliação do ruído ambiente em áreas habitadas (Miedema & Vos, 2003; Melo, 2015).

Essa metodologia foi desenvolvida pelos pesquisadores Miedema e Oudshoorn (2001), entre o ruído gerado por meios de transporte e incomodidade, com aproximações polinomiais e com intervalos de segurança mais confiável para a determinação do percentual de pessoas incomodadas (%A) e altamente incomodadas (%HA) em função dos níveis de ruído pelos diferentes modos de transportes, cujas equações são aprovadas pela Comunidade Europeia e pela Organização Mundial da Saúde - OMS, como mostra a tabela 3.4:

Tabela 3.4: Estimativa do Incomodo Sonoro

Fonte Sonora	Aproximação polinomial (%A e HA) Indicador acústico L_{den}
Rodoviário	$\%A = 1,795 \times 10^{-4} (L_{den} - 37)^3 + 2,110 \times 10^{-2} (L_{den} - 37)^2 + 0,5353 (L_{den} - 37)$ $\%HA = 9,868 \times 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 1,436 \times 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,5118 (L_{den} - 42)$
Ferrovário	$\%A = 4,538 \times 10^{-4} (L_{den} - 37)^3 + 9,482 \times 10^{-3} (L_{den} - 37)^2 + 0,2129 (L_{den} - 37)$ $\%HA = 7,239 \times 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 7,851 \times 10^{-3} (L_{den} - 42)^2 + 0,1695 (L_{den} - 42)$

Fonte: Miedema e Vos, 2003. Adaptado pela Autora.

Para a realização do cálculo do nível de pessoas com sono altamente perturbado (%PSAP), os autores Miedema e Oudshoor (2001), propõem equações com aproximações polinomiais com nível de confiança de 95%. No entanto, utiliza-se o indicador L_n para prever os efeitos causados pela exposição ao ruído noturno na fonte de tráfego rodoviário que está expresso na Tabela 3.5 que descrevem a relação entre o %PSAP, %PDS (Percentual de pessoas com distúrbios o sono) e %PSLP (Percentual de pessoas com soo levemente perturbado).

Tabela.3.5: Polinômios para Distúrbios do Sono – Tráfego Rodoviário

Fonte Sonora	Ruído do Tráfego Rodoviário
Ferrovário	$\%PSAP = 11,3 - 0,55(L_n) + 0,00759(L_n)^2$ $\%PDS = 12,5 - 0,66(L_n) + 0,01121(L_n)^2$ $\%PSLP = -4,7 + 0,31(L_n) + 0,01125(L_n)^2$
Rodoviário	$\%PSAP = 20,8 - 1,05(L_n) + 0,01482(L_n)^2$ $\%PDS = 13,8 - 0,85(L_n) + 0,01670(L_n)^2$ $\%PSLP = -8,4 + 0,16(L_n) + 0,01081(L_n)^2$
Aéreo	$\%PSAP = 18,147 - 0,956(L_n) + 0,01482(L_n)^2$ $\%PDS = 13,714 - 0,807(L_n) + 0,01555(L_n)^2$ $\%PSLP = 4,465 - 0,411(L_n) + 0,01395(L_n)^2$

Fonte: Miedema *et al.*, (2003); EC (2004)

4 MÉTODO

4.1 APRESENTAÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os métodos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. A fim de cumprir os objetivos do trabalho, primeiro foram selecionadas as variáveis para a definição dos cenários para a avaliação do impacto ambiental com a implantação do VLT em Brasília. A escolha foi baseada em informações de órgãos do GDF responsáveis pelo projeto do VLT (PDTU, 2010; TC-BR/ALTRAN, 2004 apud SANTOS 2009), do site oficial do projeto (VLT 2012, Metrô – DF, 2013) de estudos para revitalização da avenida W3 (Holanda, 2003) e em estatísticas do Departamento de Trânsito do DF (Denatran DF, 2014).

Em seguida, é apresentado de forma detalhada as diretrizes utilizadas na elaboração dos mapas de ruído, que é a metodologia mais adequada para avaliação do impacto ambiental acústico. Baseia-se nas Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído da Agência Portuguesa do Ambiente – APA (APA, 2011), que regulamentam o quadro legal relativo ao ruído ambiente em Portugal, conforme a Diretiva n.º 2002/49/CE. Também foram utilizadas partes das novas recomendações para elaboração de mapas de ruído presentes na base comum para métodos de avaliação de ruído (CNOSSOS-UE), estabelecida pela Comissão Europeia em cooperação com os Estados-Membros da UE.

Por fim são apresentados os métodos para avaliação do impacto ambiental a partir dos mapas de ruído produzidos: (i) avaliação da conformidade com a legislação ambiental; (ii) avaliação dos percentuais da população exposta por classe dos indicadores de ruído ambiental L_{noite} e L_{dia} , nas vizinhanças das linhas do VLT, para os diferentes cenários avaliados no trabalho e (iii) avaliar o distúrbio no sono da população que habita a área de estudo.

4.2 CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO

Como será apresentada na próxima seção, a produção de um mapa de ruído de uma cidade é um trabalho que requer uma equipe numerosa para a realização do trabalho em uma

janela de tempo que pode durar alguns anos. O foco dessa dissertação é a avaliação do impacto ambiental acústico na implantação de uma nova infraestrutura de transporte, no caso o VLT, em uma cidade que pode-se considerar já consolidada, que é o caso do Plano Piloto de Brasília. A situação atual avaliada no trabalho será a correspondente ao ano de 2012, referente aos dados de pesquisa de avaliação do impacto ambiental sonoro devido exclusivamente ao tráfego veicular na região do Plano Piloto em Brasília DF (Garavelli *et al.*, 2013).

Quanto aos cenários futuros, sabemos que são utilizados em larga escala no planejamento estratégico, tanto para o setor privado quanto para o setor governamental, pois oferecem uma referência de previsão futura capaz de auxiliar processos decisórios, possibilitando definir melhores ações no presente, para a obtenção de resultados mais satisfatórios no futuro (Lemes, 2005).

Desta forma, a partir destes resultados formulam-se os cenários e selecionam-se os mais prováveis. Vilela (2007) *apud* Mendonça (2013) destaca que, quanto maior o número de informações e dados, maior será a fundamentação teórica e a firmeza para se definir cenários possíveis e próximos à realidade.

Sendo assim, a previsão futura, baseada na técnica de construção de cenários, mostra-se como um importante instrumento para o processo de planejamento, gestão, políticas públicas e intervenções urbanas e será utilizado nesta pesquisa com o objetivo de avaliar os impactos acústicos na área em estudo a partir da implantação do sistema de VLT no Plano Piloto.

Portanto, para definição dos cenários futuros, vamos considerar como variáveis importantes para nossa análise: (i) Fluxo de veículos por hora, por tipo de veículo, pesado e leve, (ii) Taxa média de aumento da frota de veículos, (iii) Taxa média de aumento da população e (iv) Ano de entrada em operação do VLT (previsão).

4.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE RUÍDOS

A elaboração dos mapas de previsão do ruído ambiental em Brasília foi realizada, seguindo o fluxograma apresentado na Figura 4.1, adaptado pela autora a partir das diretrizes para elaboração de mapas de ruídos (APA, 2011). Como fontes do ruído ambiental foram consideradas o tráfego rodoviário e o tráfego ferroviário (VLT), conforme o cenário em análise. A influência do ruído aeronáutico não é significativa na área de estudo (Carvalho Jr, 2015).

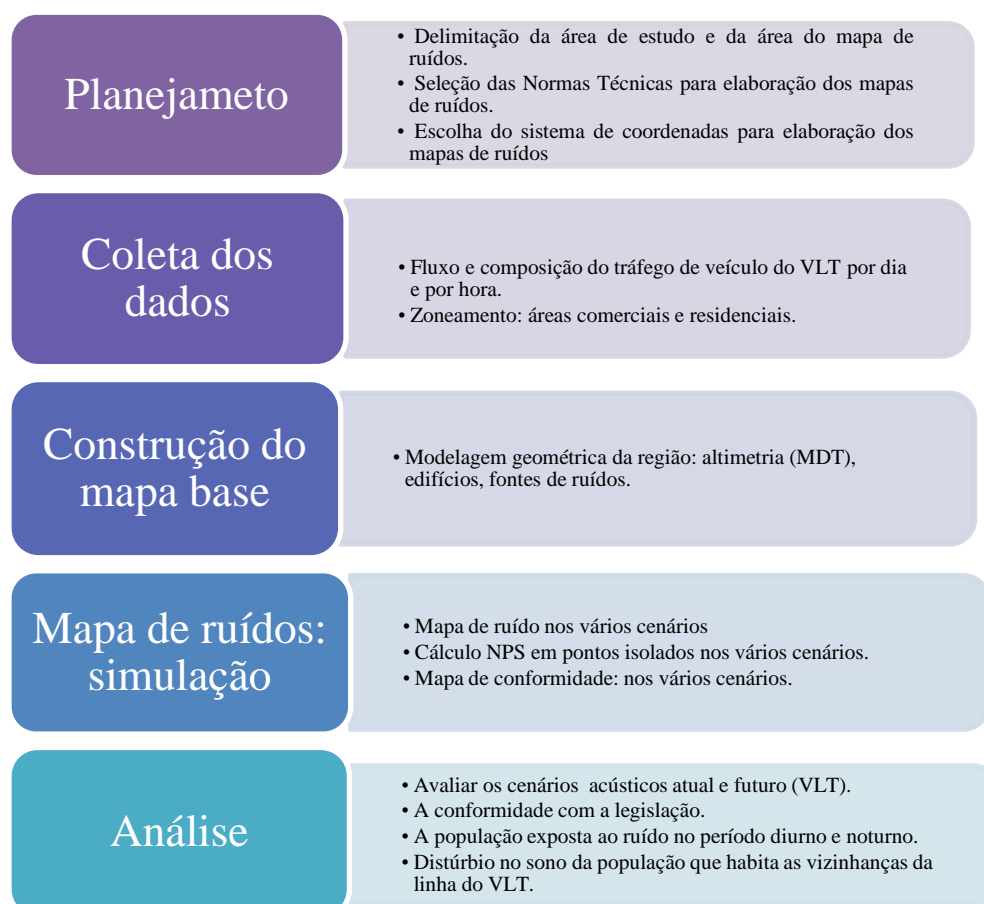


Figura 4.1: Fluxograma para elaboração e análise dos mapas de ruídos

4.3.1 Planejamento

a) Delimitação da área de estudo e da área do mapa de ruídos

Na avaliação de ruído ambiental é necessário considerar uma área de estudo maior do que a área onde se pretende conhecer os níveis sonoros (adiante designada como "área do mapa de ruído"), dado que poderão existir fontes de ruído e obstáculos que apesar de se localizarem fora da área do mapa, poderão ter influência nos níveis sonoros aí existentes. À

distância a considerar para além da área do mapa depende do tipo e intensidade da fonte em questão, bem como das características de ocupação do solo no limite da área do mapa que determinam a capacidade de influência dessas fontes "exteriores" naquela área.

A área de estudo selecionada está localizada no centro da RA de Brasília – DF, e corresponde a região central de Brasília, denominada de Plano Piloto. Conforme o projeto, o VLT vai atravessar o Plano Piloto ao longo do canteiro central da avenida W3 (Linha 1) e paralelo ao eixo monumental (Linha 2), conforme a Figura 1.1. Assim a área do mapa de ruídos é definida como a região correspondente a uma faixa de 1,0 km de largura centrada no eixo do traçado previsto para o VLT. No traçado do VLT, apenas nas vizinhanças da avenida W3 existem áreas residenciais. Portanto, o foco da nossa avaliação será a vizinhança da avenida W3.

b) Normas técnicas para elaboração dos mapas de ruídos

Uma etapa fundamental na elaboração de mapas de ruídos é a escolha das normas técnicas e do sistema de coordenadas para elaboração do mapa de ruídos. Os modelos matemáticos de emissão e propagação do ruído do tráfego rodoviário, por exemplo, devem proporcionar o cálculo de distribuição espacial dos NPS representados através de parâmetros acústicos compatíveis com as normas ambientais vigentes. Neste trabalho vamos utilizar as normas conforme a APA 2011 para previsão do ruído rodoviário e do ruído ferroviário que são respectivamente as normas NMPB Routes-2008 e RMR-2002, já discutidos no capítulo 3.

c) Sistema de Coordenadas

O sistema de coordenadas deve ser compatível com dados demográficos, por exemplo, do IBGE e com cartas geográficas disponíveis, facilitando a construção do mapa de ruídos. A base de dados utilizada foi a base SICAD/2010 (Sistema Cartográfico do Distrito Federal) assim o sistema de coordenadas escolhido foi o SIRGAS 2000, projeção UTM 23 Sul (correspondente a área de estudo), o mesmo da base SICAD.

4.3.2 Coleta dos Dados

Para a realização deste trabalho foram disponibilizados os dados de pesquisa da avaliação do impacto ambiental sonoro referente ao tráfego veicular na região do Plano Piloto da RA de Brasília - DF para elaboração do mapa de ruídos da situação atual, referente ao ano 2012 (Garavelli, 2013). Como na elaboração dos mapas dos cenários futuros são necessários conhecimentos relativos ao uso do software de simulação ambiental. Assim, foi realizado o estudo de elaboração de mapas de ruído bem como treinamento básico no uso dos softwares SoundPlan® e SIG. Abaixo descrevemos de forma geral as etapas da coleta de dados.

a) Fluxo e composição do tráfego de veículos do VLT

Neste trabalho, conforme metodologia proposta por Maroja *et al.* (2011), foram utilizados os dados de volume e composição do tráfego veicular dos Controladores Eletrônicos de Velocidade - CEV, fornecidos pelo Detran – DF e DER - DF (Garavelli *et al.*, 2013), referentes ao mês de maio/2012. Já na simulação do impacto ambiental acústico do VLT os dados são os disponibilizados com documentos oficiais do GDF (VLT, 2012; PDTU, 2010).

A Figura 4.2 mostra um CEV na avenida W3. Esses aparelhos além de possibilitar o registro de informações de infrações de trânsito armazenam dados referentes ao volume e a composição do tráfego. O relatório de volume de tráfego rodoviário apresenta a contagem de veículos para cada hora do dia classificados nas seguintes categorias: motos, pequenos, médios e pesados. Na elaboração dos mapas de ruído, motos, pequenos e médios foram classificados como veículos leves e os “pesados” como veículos pesados (Maroja *et al.*, 2011), sendo leves (veículo de massa líquida inferior a 3,5 toneladas) e pesados (veículo de massa líquida igual ou superior a 3,5 toneladas).



Figura 4.2: Controlador Eletrônico de Velocidade na Av. W3/N

Como parte da entrada para o cálculo do mapa, é necessário que se informe a velocidade média dos veículos nas principais vias na área de estudo. Para a L2 e W3 a velocidade máxima é de 50km/h, nos Eixos L e W o limite máximo é de 60km/h e por fim, o Eixo Central o limite máximo é de 80 km/h (Garavelli *et al.*, 2013).

b) Zoneamento da área de estudo

A coleta de dados foi finalizada com a classificação do espaço urbano do Plano Piloto, estabelecendo para cada área os limites de NPS para o período diurno e para o período noturno, conforme o quadro 3.2. O zoneamento será necessário na simulação dos mapas de conformidade.

4.3.3 Construção do Mapa Base

A primeira etapa para construção da base do mapa de ruídos corresponde à construção do Modelo Digital de Terreno – MDT da área de estudo. O software utilizado para a geração dos mapas foi o SoundPlan. O MDT foi criado a partir da cartografia base (SICAD, 2010), utilizando as curvas de nível cotadas. Uma vez gerado, tanto o relevo da área de estudo como a altimetria são incorporadas no MDT, ou seja, a altura real de todos os pontos do Plano Piloto de Brasília.

Em seguida, foram incorporados ao MDT os edifícios, casas e conjuntos comerciais com as respectivas alturas em relação ao mapa base. Por fim, são incorporadas ao mapa as linhas de emissão sonora referentes às principais vias que atravessam a área de estudo: a Avenida W3, o eixo rodoviário Leste, o eixo rodoviário Central e o eixo rodoviário Oeste. A distribuição do fluxo de veículos por hora e a composição do tráfego veicular característico de cada via também foram acrescentados no mapa. Na simulação da situação futura foi acrescentado o ruído ferroviário, que representa o VLT.

4.3.4 Mapa de ruídos: Simulação

Os mapas de ruído permitem quantificar os níveis de pressão sonora e sua distribuição espacial, gerando uma informação visual do comportamento acústico do ruído ambiental em uma área geográfica, em determinado horário ou momento ao longo do dia. Nos mapas, os NPS são apresentados na forma de linhas de contorno ou isofônicas, cada linha representando níveis iguais de exposição de ruído. Os mapas são calculados, de forma a expressarem os indicadores L_{dia} (indicador de ruído diurno), L_n (indicador de ruído noturno) e L_{den} (indicador de ruído dia-fim-de-tarde-noite).

Essa ferramenta ainda proporciona a avaliação da exposição da população, a possibilidade de cenários futuros e a identificação de áreas de conflito. Estes mapas quando apresentados de forma clara, compreensível e acessível ao público, são importantes, pois são precisos e satisfazem análise pública (Tsai *et al.*, 2009; Santos e Valado, 2004; Mendonça, 2013; Asensio *et al.*, 2011; King & Rice, 2009; King & Rice, 2011).

O mapa acústico (ou mapa de ruído) tem como objetivo principal a criação de representações visuais do ruído ambiental de uma dada área geográfica, sendo os níveis de ruído representados de maneira semelhante às curvas topográficas de mapas convencionais. A norma International Organization for Standardization – ISO 1996 recomenda identificar nesses mapas os limites de cada curva por meio de cores padronizadas em intervalos de 5 dB como mostra a Figura 4.2 (Guedes *et al.*, 2005; APA, 2011).






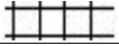

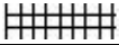



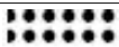







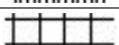
Classes do Indicador	Cor		RGB	Padrão de sombreado		Dim/Esp
$L_{den} \leq 55$	ocre		255,217,0	linhas verticais, média densidade		0,5 / 4
$55 < L_{den} \leq 60$	laranja		255,179,0	linhas verticais, alta densidade		0,5 / 2
$60 < L_{den} \leq 65$	vermelhão		255,0,0	linhas cruzadas, baixa densidade		0,5 / 8
$65 < L_{den} \leq 70$	carmim		196,20,37	linhas cruzadas, média densidade		0,5 / 4
$L_{den} > 70$	magenta		255,0,255	linhas cruzadas, alta densidade		0,5 / 2
$L_n \leq 45$	verde escuro		0,181,0	pontos grandes, alta densidade		6 / 6
$45 < L_n \leq 50$	amarelo		255,255,69	linhas verticais, baixa densidade		0,5 / 8
$50 < L_n \leq 55$	ocre		255,217,0	linhas verticais, média densidade		0,5 / 4
$55 < L_n \leq 60$	laranja		255,179,0	linhas verticais, alta densidade		0,5 / 2
$L_n > 60$	vermelhão		255 0,0	linhas cruzadas, baixa densidade		0,5 / 8

Figura 4.3: Relação de cores e padrões para as classes de níveis sonoros
 Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente – APA

Na simulação dos mapas de ruído os parâmetros acústicos de longo prazo são os definidos na Diretiva Europeia 2002/49/EC. A diretiva estabelece o parâmetro L_{den} , como representativo do nível de pressão sonora equivalente e contínuo ponderado nas 24h do dia (Maroja *et al.*, 2014). Na legislação ambiental brasileira não existe referência ao parâmetro L_{den} , assim em nossa análise e na produção dos mapas de ruído os parâmetros acústicos utilizados serão L_{dia} e L_{noite} , correspondendo respectivamente ao período diurno e noturno, definidos na seção A4 do apêndice 4. Os limites do NPS serão assim os estabelecidos pela legislação brasileira, NBR 10151 (ABNT, 2000).

Os parâmetros acústicos L_{dia} e L_{noite} são definidos respectivamente como correspondentes ao nível de pressão sonora equivalente e contínuo medido com o filtro de frequência na ponderação A, referente a um período de 12h avaliado entre 06h e 18h (dia) e um período de 8h avaliado entre 22h e 06h (noite). Os limites de horário foram adaptados a legislação brasileira (Maroja *et al.*, 2014).

a) Mapa de ruído

O mapa de ruído é produzido a partir de uma rede de receptores de ruído sobreposta à área de cálculo do mapa. Três grandezas estabelecem as dimensões da rede, a localização dos receptores e a precisão dos cálculos: o passo define as dimensões de cada célula da rede; a altura de cálculo representa a altura dos receptores de ruído em relação ao solo e a resolução espacial tem relação com a precisão do mapa, como será comentado abaixo. O

passo utilizado no trabalho foi de 5m, adequado para produção de mapas de ruído com a dimensão de cidades. A altura de cálculo foi de 4m conforme as diretrizes da APA 2011 e a resolução espacial foi a maior disponível no software de simulação ambiental SoundPlan, 9x9.

A Figura 4.4 mostra um recorte do mapa de ruído apresentando a rede com passo de 5m, a partir da qual é produzido o mapa de contorno. A cor de cada célula representa o NPS médio sobre sua superfície. No cálculo um receptor é localizado no centro de cada célula com área de $5m \times 5m = 25m^2$ e a uma altura de 4,0m acima do solo. O valor do NPS em cada receptor é calculado através da soma dos NPS produzidos por cada fonte do mapa na posição do receptor. Conforme o tipo de fonte é utilizado na propagação do som o modelo matemático NMPB (rodovia) ou RMR 2002 (ferrovia).

A resolução espacial 9x9 estabelece o refinamento do cálculo por meio da interpolação dos valores calculados para os receptores até um bloco máximo de 81 receptores auxiliares no interior de cada célula, de modo a garantir que o NPS calculado para a célula seja representativo da média sobre toda a sua área. Na prática, o algoritmo de cálculo determina inicialmente o valor do NPS nos quatro cantos da célula e compara com o valor no centro (interpolação). Se a diferença é maior que 0,15 dB (tolerância padrão) o número de receptores auxiliares é aumentado e uma nova interpolação dos valores é calculada. O processo é repetido até o máximo de 80 receptores auxiliares ou até que a tolerância seja atingida (REF. Soudplan, Manual). Os mapas de contorno do trabalho foram produzidos a partir de uma rede com centenas de milhares de receptores.

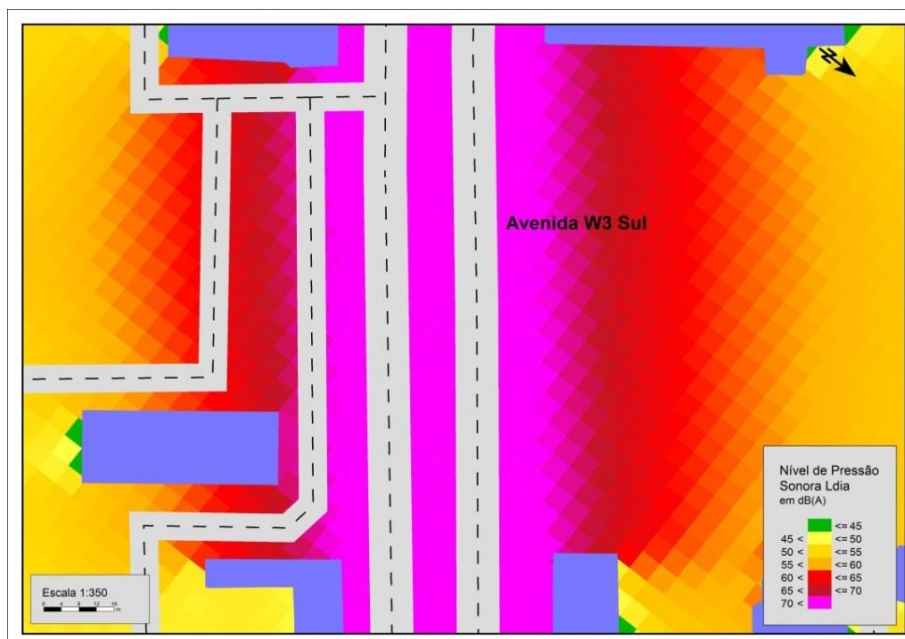


Figura 4.4: Recorte de mapa de ruídos apresentado a rede com passo de 5m

b) Cálculo do NPS em Pontos Isolados

A fim de avaliar quantitativamente os NPS foram distribuídos nas vizinhanças tanto da Linha 1 como da Linha 2 receptores de ruído. Para avaliar a variação dos NPS com a distância nas margens da W3, foram distribuídos, tanto na asa norte como na asa sul receptores a 0m, 15m, 30m, 45m e 60m do centro da via mais próxima. Também foram posicionados receptores próximos a edificações sensíveis ao ruído como hospitais e escolas bem como na área residencial das quadras. Nas vizinhanças da linha 2 os receptores foram posicionados próximos as sedes do Governo Federal e Distrital, bem como no setor de hotéis.

c) Mapa de Conformidade

Na RA de Brasília – DF a poluição sonora é regida pela Lei Distrital 4.092, de 30 de janeiro de 2008, que estabelece como limites de NPS, conforme o zoneamento urbano, os valores apresentados no quadro 3.2. O mapa de conformidade representa o resultado da confrontação entre os NPS estimados para cada região e os níveis de referência preconizados pela lei distrital 4.092/2008 (Garavelli, 2013).

4.4 POPULAÇÃO EXPOSTA E O PERCENTUAL DE PESSOAS COM DISTURBIO NO SONO

Os mapas de ruído produzidos mostram a distribuição espacial do ruído para cada um dos cenários avaliados, tanto no período diurno como no período noturno. Além da análise da conformidade com a legislação e a avaliação dos NPS em pontos isolados foram determinadas a população exposta e o percentual de pessoas com distúrbio no sono. Assim, a metodologia utilizada para o cálculo da População Exposta – PE por faixa dos indicadores de ruído L_{dia} e L_{noite} foi baseada no método proposto por Carvalho et al, 2013.

Foram calculadas a PE para os anos de 2012 e 2020. No cálculo da PE foram utilizados os seguintes softwares e bases de dados: (i) software Qgis 2.8; (ii) software Pacote Office 2010: Plataforma Excel; (iii) dados geométricos das subseções estatísticas dos Setores Censitários, em formato shape e informação para cada subseção estatística (dados do Censo 2010, IBGE); (iv) mapas de ruído no formato shapefile.

Inicialmente, as curvas do ruído foram sobrepostas com a camada censitária, sendo criados arquivos para cada curva de ruído, e assim, realizar a intersecção dos arquivos das curvas de ruído com base de dados censitária. Em seguida, foram identificados os códigos censitários na planilha censitária que indica o número total de moradores por setor censitário. De posse do código censitário, dos valores dos indicadores L_{dia} e L_{noite} e com o número total de população calculado para cada código censitário foi realizado o cálculo da PE por faixa de curva de ruído na área de influencia do VLT na RA de Brasília.

A seguir, foram calculados para o período noturno utilizando os polinômios da Tabela 3.5 o número de PDS, o número de PSLP como também o número de PSAP, que possibilitam quantificar o percentual de pessoas incomodadas de acordo com o nível de exposição sonora sobre a comunidade no período noturno.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados das simulações na forma de mapas acústicos para os cenários: (i) atual – 2012; (ii) cenário futuro – 2020 sem o VLT; (iii) cenário futuro – 2020 com o VLT. Os mapas de conformidade determina a confrontação dos níveis de pressão sonora estimados com os níveis de referencias preconizados pela lei vigente. Serão apresentadas também as tabelas de cálculos contendo o percentual da população exposta por faixa de ruído e a estimativa da população incomodada e altamente incomodada com o ruído no período noturno.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse está localizada na RA de Brasília – DF nas coordenadas 15° 46'48" Sul de Latitude e 47° 55' 45" Oeste de longitude, situado no Centro-Oeste do País planejada com uma estrutura moderna e tombada como patrimônio pela UNESCO. Foi inaugurada em 21 de abril de 1960, que por sua vez possui o maior PIB de renda per capita do Brasil R\$ 62.860 entre as capitais e uma população de aproximadamente 2,914 milhões de habitantes no ano de 2015.

A Figura 5.1 mostra o Plano Piloto da cidade de Brasília. A avenida W3, onde o VLT será instalado, no canteiro central, atravessa a cidade longitudinalmente no sentido norte-sul, atravessando a asa sul e a asa norte do Plano Piloto.

A Avenida W3 norte e sul faz parte dos eixos estruturadores do Plano Piloto de Brasília com uma extensão de 12 km. A via W3 se localiza entre as quadras 500 e 700, apresenta três faixas de rolamento em cada sentido. Por ser uma área mista com vocação comercial possui escolas, shoppings, bancos, lojas, entre outros, em sua vizinhança.

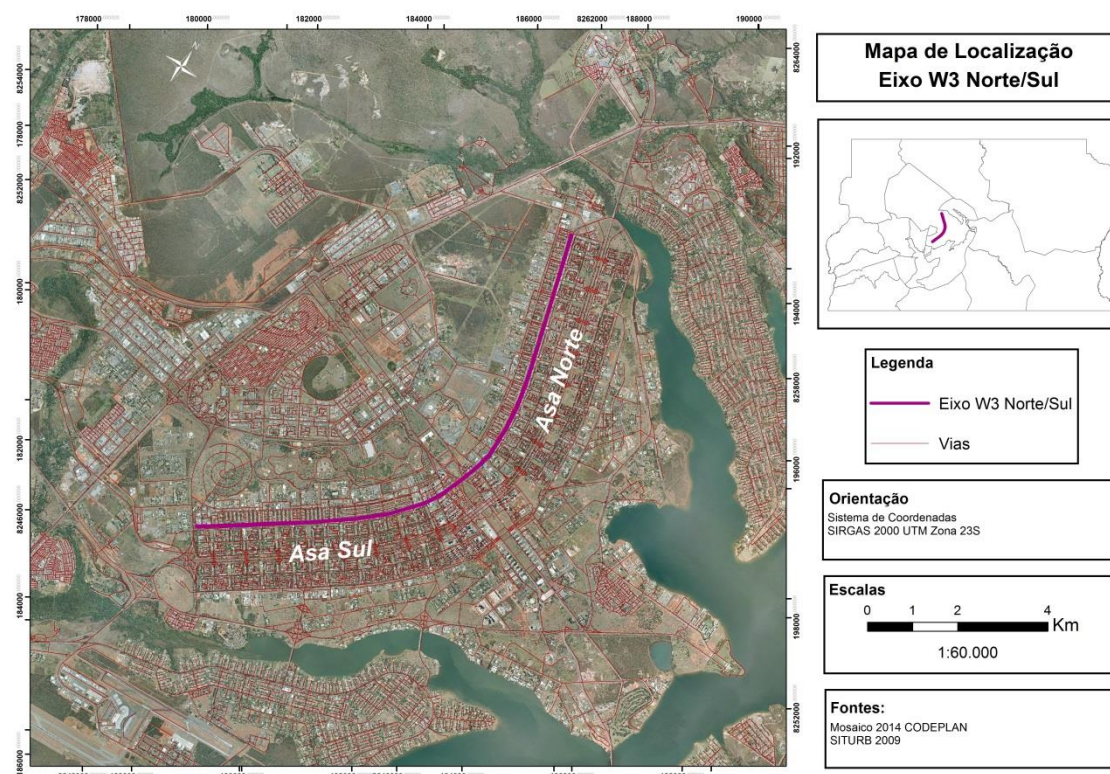


Figura 5.1: Localização da Avenida W3 S/N

5.2 CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO

O mapeamento de ruído da RA de Brasília foi desenvolvido com tecnologias recentes e mais avançadas, revelando em detalhe o estado do ambiente acústico. Identifica e quantifica as influências das fontes sonoras de ruído que contribuem para o ambiente sonoro existente. Esta ferramenta incorpora toda informação relativa ao tráfego rodoviário, principal fonte de ruído. Os Mapeamentos de Ruído foram apresentados para os indicadores L_{dia} e L_{noite} . Os indicadores de ruído são escalonados em intervalos de 5 dB(A), com escala de cores conforme a Tabela 4.2 (APA, 2011). No período diurno o intervalo avaliado é de 50 dB(A) até 70 dB(A) e no período noturno o intervalo é de 45 dB(A) até 65 dB(A).

Na avaliação a ênfase é dada ao trecho 1, como mostra na Figura 2.15, pois apenas nas margens da avenida W3 existem áreas residenciais. Nas margens da linha 2 predominam o comércio e a administração do Distrito Federal e do Governo Federal, o que faz da área ser predominantemente administrativa.

Na avaliação do cenário atual (2012) foram utilizados os dados de fluxo e composição do tráfego veicular de 2012 referentes ao mês de maio. Esses dados foram medidos utilizando os CEV, como discutido no capítulo 5. O potencializador da poluição sonora na Capital Federal é o aumento da frota de veículos com a taxa acima de 5,2% ao ano, o que faz surgir grandes congestionamentos mesmo fora do horário de pico juntamente com o aumento do ruído do tráfego (Denatran-DF, 2014). Assim, para a confecção do cenário futuro (2020) sem o VLT, foi projetado um aumento da frota de veículo de 5,2% ao ano, conseqüentemente, em 8 anos corresponderá a um total de 50% no aumento da frota em relação ao cenário atual (2012). Consideramos que as vias continuaram da mesma forma que apresentadas no cenário atual (2012).

Na confecção do cenário futuro (2020) com o VLT, foi considerado também o aumento da frota de veículos em 5,2% ao ano, o que corresponde a 50% em 8 anos. Os documentos oficiais projetam com a instalação do VLT uma redução de 30% dos veículos leves e uma redução de 75% dos veículos pesados. Conforme resumo abaixo mostra a variação em relação aos totais de 2012 corresponde a um aumento de 5% no total de veículos leves e uma redução de 37,5 % no fluxo de veículos pesados em relação ao fluxo de 2012.

a) Veículos leves

$$1,5 - 0,3 * 1,5 = 1,05$$

Onde:

$$1,5 = 2020$$

0,3= Redução projetada para veículos leves

1,05= Resultado

b) Veículos pesados

$$1,5 - 0,75 * 1,5 = 0,375$$

Onde:

$$1,5 = 2020$$

0,75= Redução projetada para veículos pesados

0,375= Resultado

5.2.1 Cenário Acústico Atual (2012)

As figuras de 5.2 a 5.7 apresentam os mapas de ruído determinados para os vários cenários. As cores utilizadas na produção dos mapas são as recomendadas pela APA 2011, conforme a Tabela 4.3. A esquerda de cada mapa apresentaram ampliações de duas regiões do mapa principal, em 1 região próxima a quadra 509 da asa sul e em 2 a Explanada dos Ministérios. A faixa rosa larga nos mapas mostra que nas proximidades do eixo das vias os NPS estão acima de 70 dB(A). Em 1 essa faixa representa a Avenida W3, em (2) o Eixo Monumental. No mapa principal as faixas identificam a W3 e o Eixo Monumental.

No período noturno observa-se que os tons no eixo das rodovias, W3 e Eixo Monumental, estão agora em vermelho escuro e vermelho claro, evidenciando a redução em pelo menos 5 dB(A) em relação ao período diurno.

A Figura 5.2 mostra o mapa de ruído diurno do cenário atual (2012). Na simulação as manchas vermelho escuro e rosa, representam as faixas sonoras de 60 dB(A) e acima de 70 dB(A), que predominam próximo a W3 S/N e ao Eixo Monumental, que são as vias com maiores problemas de ruído, devido ao grande fluxo de veículos que circula durante todo o dia, o que proporciona níveis não permitidos pela legislação que estabelece para esta área mista limite de até 55 dB(A) no período diurno, pois na W3 está caracterizada de um por áreas residenciais e do outro lado áreas comerciais.. As demais, que corresponde a cor verde compreende a faixa sonora < 45 dB(A), este prevalece no interior das quadras residenciais, onde sofre pouca influência do ruído rodoviário gerado pela via principal.

Ainda analisando ambos os mapas, pode-se perceber que apenas os locais no interior das quadras, encontram-se com os níveis sonoros relativamente baixos, entre 40 dB(A) e 50 dB(A), para os mapas gerados a partir dos indicadores L_{dia} e L_{noite} . Visto que as edificações próximas à via, de onde origina o ruído existente, irão funcionar como barreira acústica para as edificações do interior das quadras que durante à noite o NPS é de 45 dB(A), mas na margens da W3 (700), este NPS fica acima de 60 dB(A).

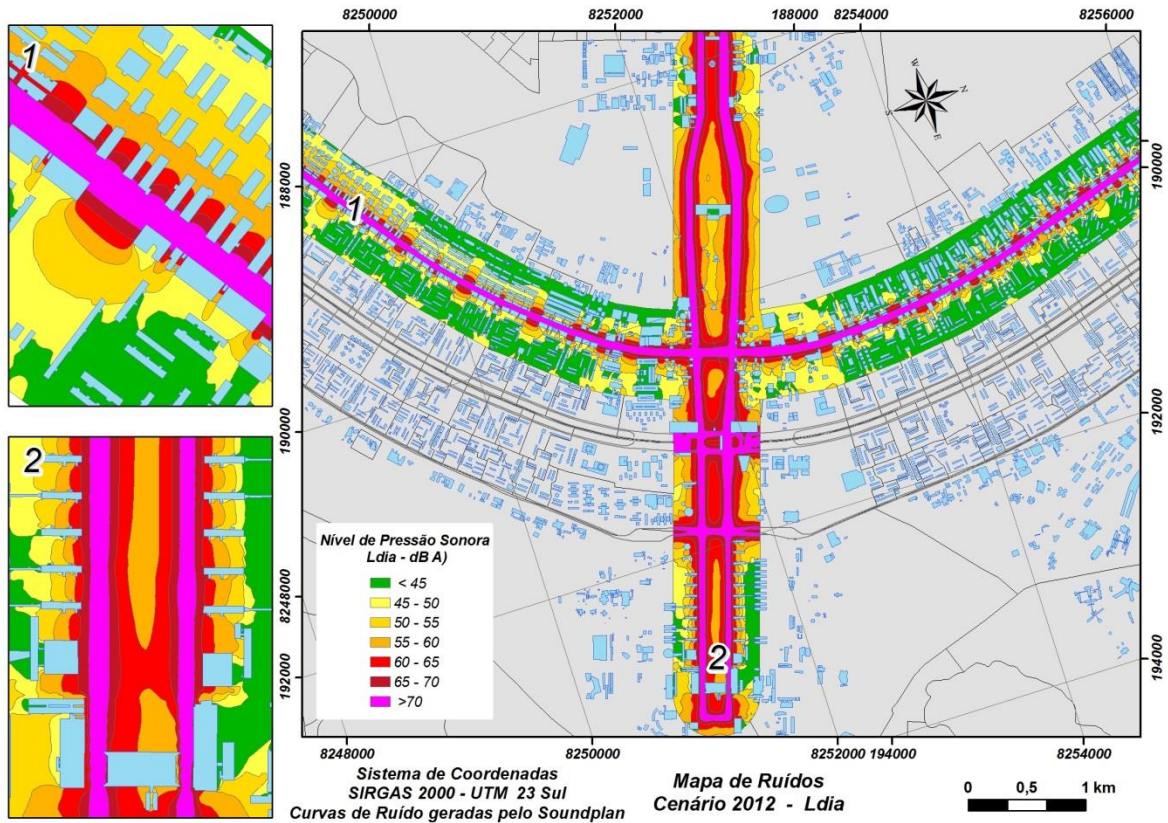


Figura 5.2: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Atual (L_{dia})

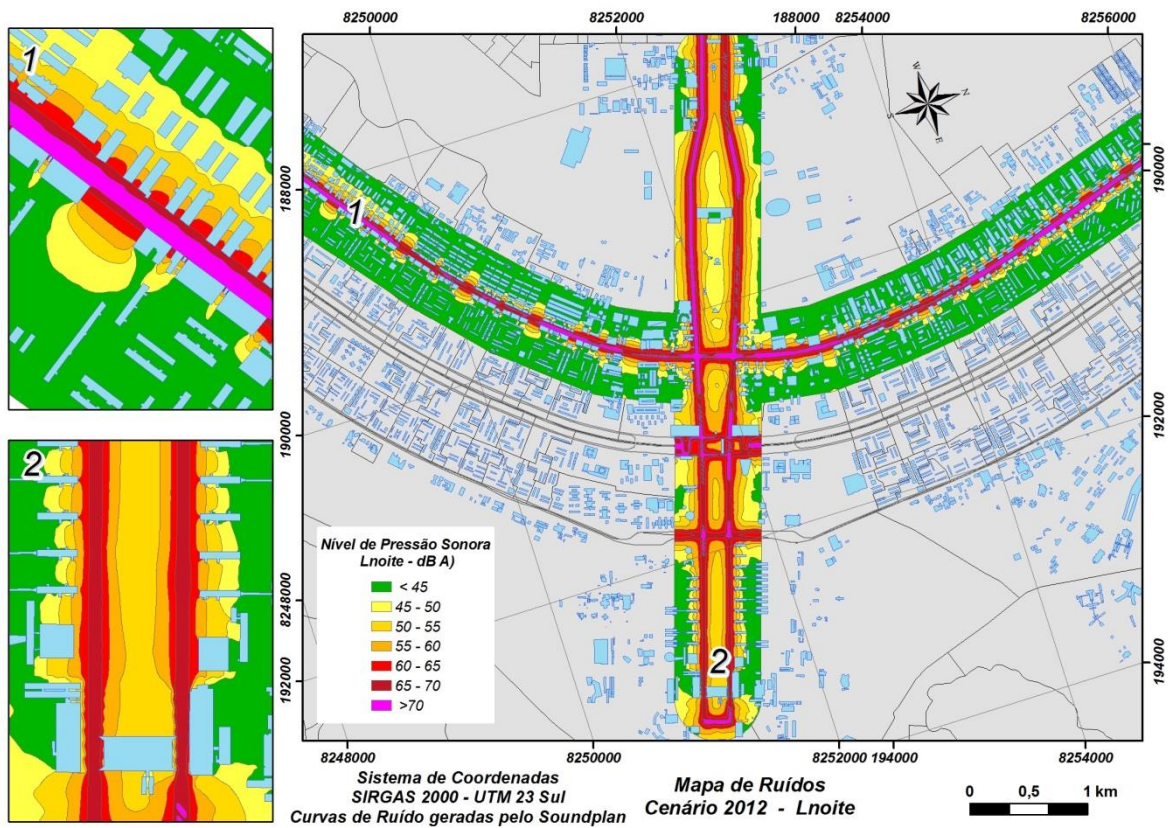


Figura 5.3: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Atual (L_{noite})

5.2.2 Cenário Acústico Futuro (2020) sem VLT

Os mapas apresentados nas Figuras 5.4 e 5.5 mostra o cenário futuro (2020) sem o VLT, nos períodos diurno e noturno, respectivamente, da região de estudo. Estes mapas foram confeccionados para avaliar o NPS de acordo com o aumento de 50% da frota de veículo neste cenário.

Ao comparar as figuras 5.2 e 5.3 do cenário atual (2012) com as figuras 5.4 e 5.5 do cenário futuro (2020) sem VLT, é perceptível na área 1 e 2 em destaque, o avanço da faixa de cor rosa, referente ao $NPS > 70$ dB(A) no período diurno na via principal como também um avanço da cor amarela e laranja para dentro das quadras residenciais, ou seja, houve uma redução das áreas em conformidade com a legislação.

Já a Figura 5.5 apresenta cenário do período noturno, onde se tem a curva de ruído de 45 dB (A) dentro das quadras e próximo a W3 S/N houve um aumento de 5 dB (A) o que também fez avançar para dentro das quadras o tom de amarelo como mostra as áreas 1 e 2 em destaque .

Os mapas 5.4 e 5.5 do cenário futuro (2020) sem VLT mostram que se não forem tomadas medidas para mitigação da poluição sonora, principalmente na W3 S/N, onde estão localizados vários prédios sensíveis ao ruído em sua vizinhança, a situação ficará bastante problemática, pois ao longo de toda via apresentam níveis sonoros acima do permitido pela Lei distrital 4.092, que para esta área o limite máximo é de 55 dB(A) no período diurno e 50 dB(A) no período noturno.

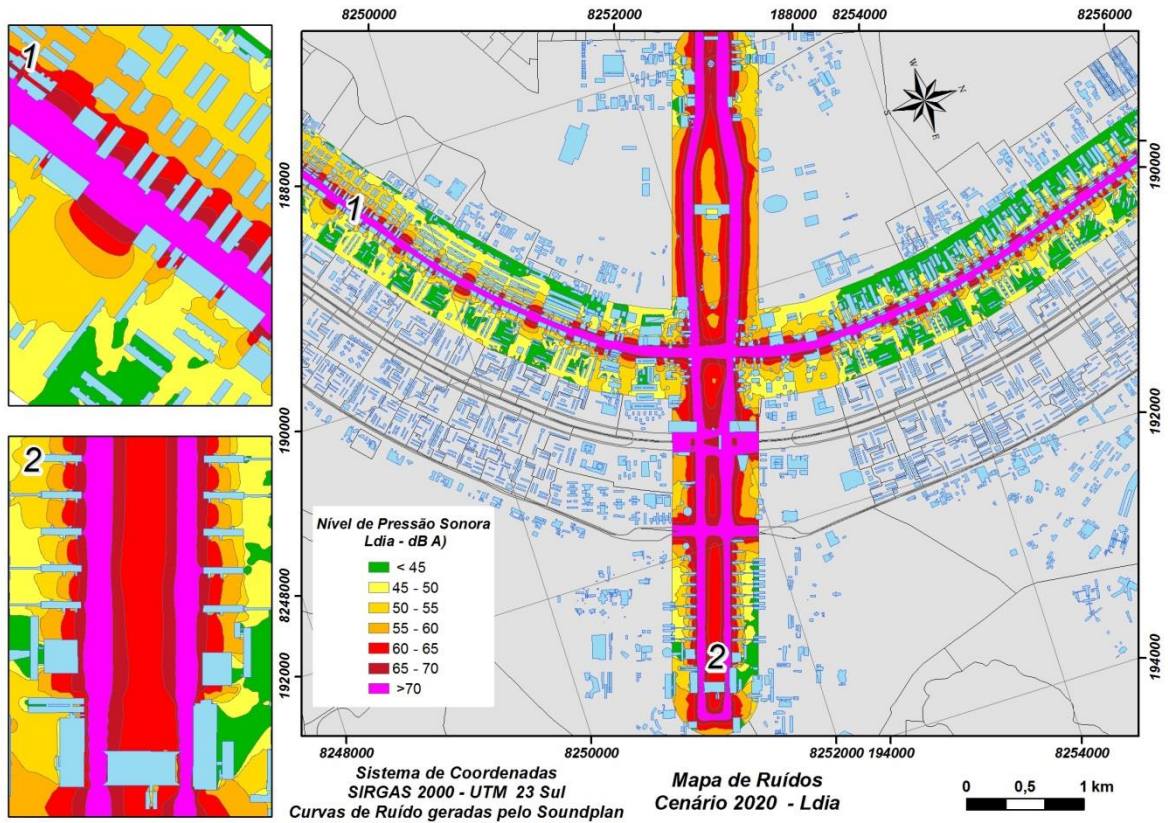


Figura 5.4: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro sem VLT (L_{dia})

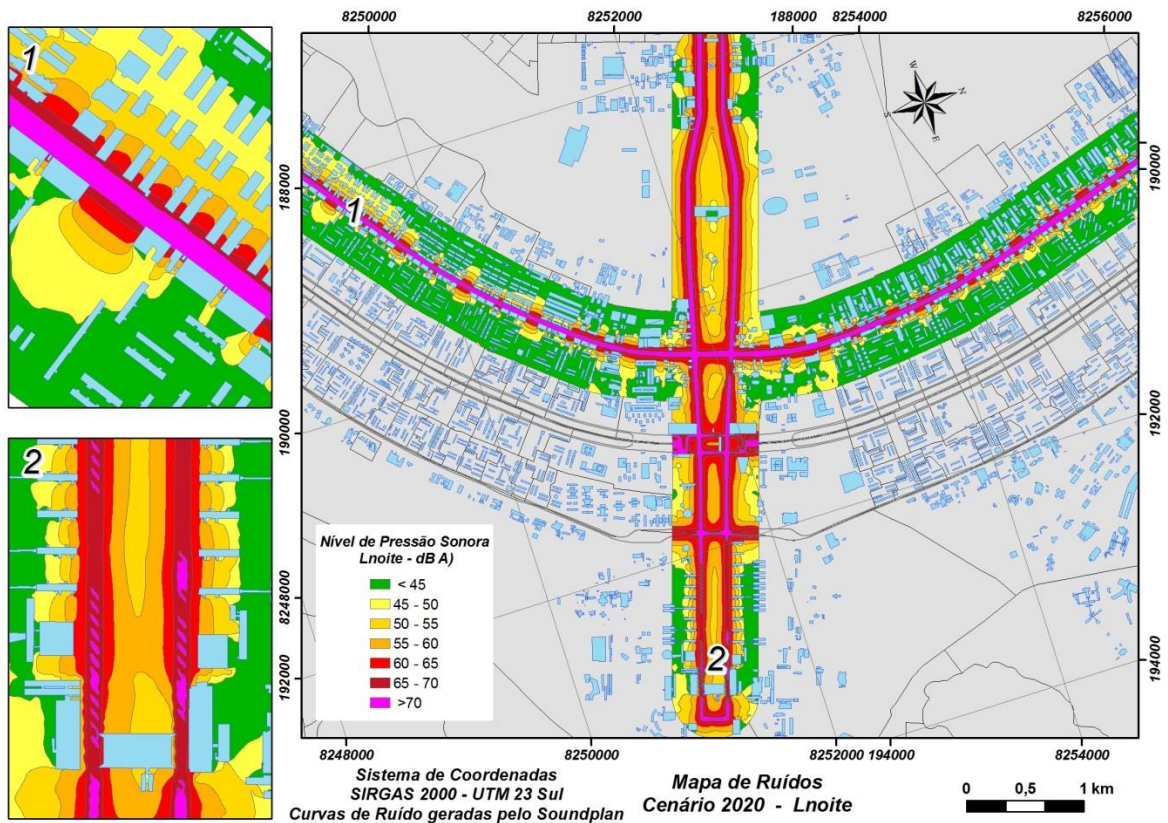


Figura 5.5: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro sem VLT (L_{noite})

5.2.3 Cenário Acústico Futuro (2020) com VLT

Para a previsão do cenário futuro em relação ao ruído ambiental gerado pelo tráfego rodoviário, realizou-se o mapeamento da área de estudo referente ao período diurno e noturno, conforme as Figuras 5.6 e 5.7, respectivamente. Para o cálculo dos modelos para situação futura, segundo o PDTU/2010 e do GDF/2012 será estimada uma redução de 30% do fluxo de veículos leves e 75% dos veículos pesados após a implantação do VLT.

Ao comparar os mapas do cenário atual (2012) com o mapa do cenário futuro (2020) com VLT pode-se observar que mesmo com a redução estimada de 30% para os veículos leves e de 75% dos veículos pesados a via principal continua com a predominância de NPS > 70 dB(A) o que afeta a população residente as margens da via, assim percebe-se pontos isolados com o NPS acima de 50 dB(A) dentro das quadras residenciais devido o aumento do fluxo de veículos. Esta quantidade de pontos amarelos se deve ao aumento de 5 dB(A) que houve devido o acréscimo de veículos na região.

Ao analisar o mapa 5.2 com o mapa 5.6, pode-se notar que houve uma estabilidade em relação ao cenário atual (2012) como pode ser observado na área 1 e 2 em destaque no período diurno. Por tanto, mesmo com a redução da faixa rosa no período diurno, a via principal continua não atendendo os níveis máximos estabelecidos pela legislação para o período diurno que de acordo com a lei distrital 4.092 estabelece o limite máximo de 55 dB(A), por ser uma área mista, predominante residencial.

No período noturno, ao comparar o cenário atual (2012) em relação ao cenário futuro (2020) com VLT percebe-se uma diminuição da faixa rosa na via principal, porém não houve muita diferença entre os mapas analisados, assim pode-se dizer que houve uma estabilidade entre os dois cenários analisada.

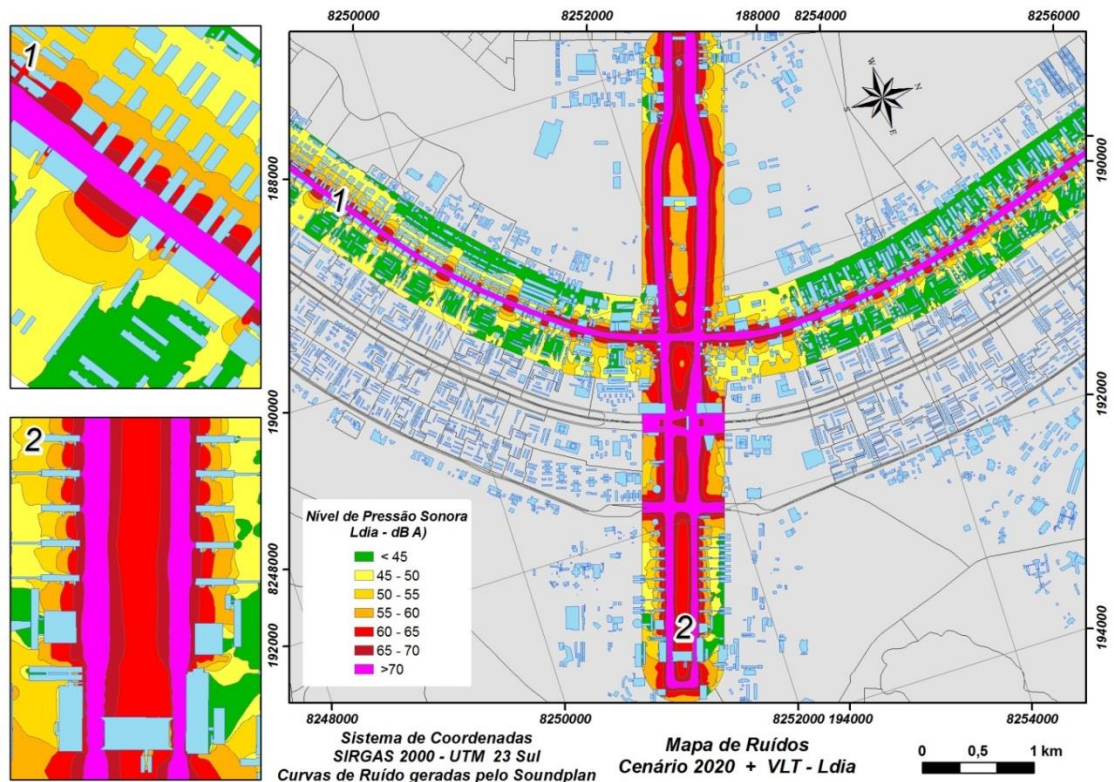


Figura 5.6: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro com VLT (L_{dia})

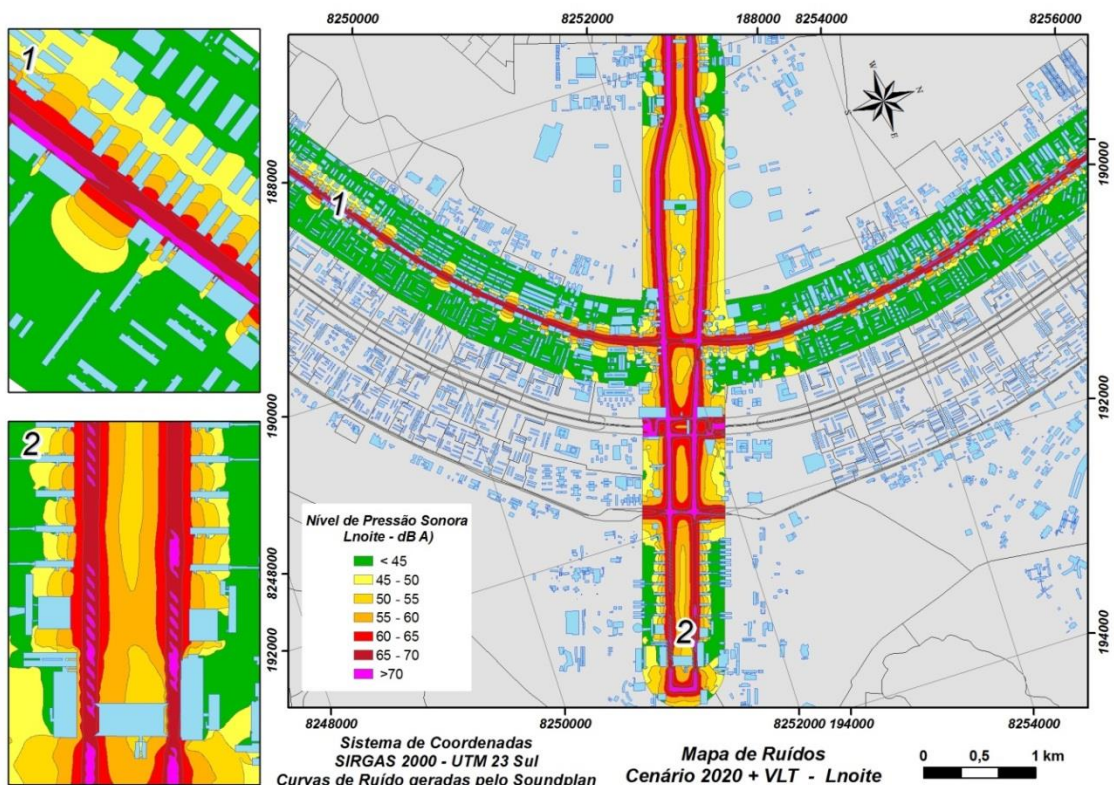


Figura 5.7: Mapa de ruído rodoviário – Cenário Futuro com VLT (L_{noite})

5.3 MAPAS DE CONFORMIDADE

A Figura 5.8 mostra o uso do solo de cada área do mapa de ruído. Por exemplo, as quadras 500 do plano piloto, na margem da avenida W3 foram classificadas como “área mista, com vocação comercial e administrativa” com limite de 60 dB para o período diurno e 55 dB para o período noturno, as áreas 700 são constituídas de casas e prédios, sendo classificadas como áreas estritamente residenciais, tendo como limite máximo de 50 dB para o período diurno e 45 dB para o período noturno. Nas quadras 300 são constituídos por prédios residências, por tanto o limite permitido de NPS é de 50 dB no período diurno e de 45 dB no período noturno. Já entre as quadras apresentarem pequenas residências e por ser ladeadas de pequenas lojas como padaria, farmácia, papelaria, entre outras, tem seu NPS de 55 dB diurno e 50 dB noturno.

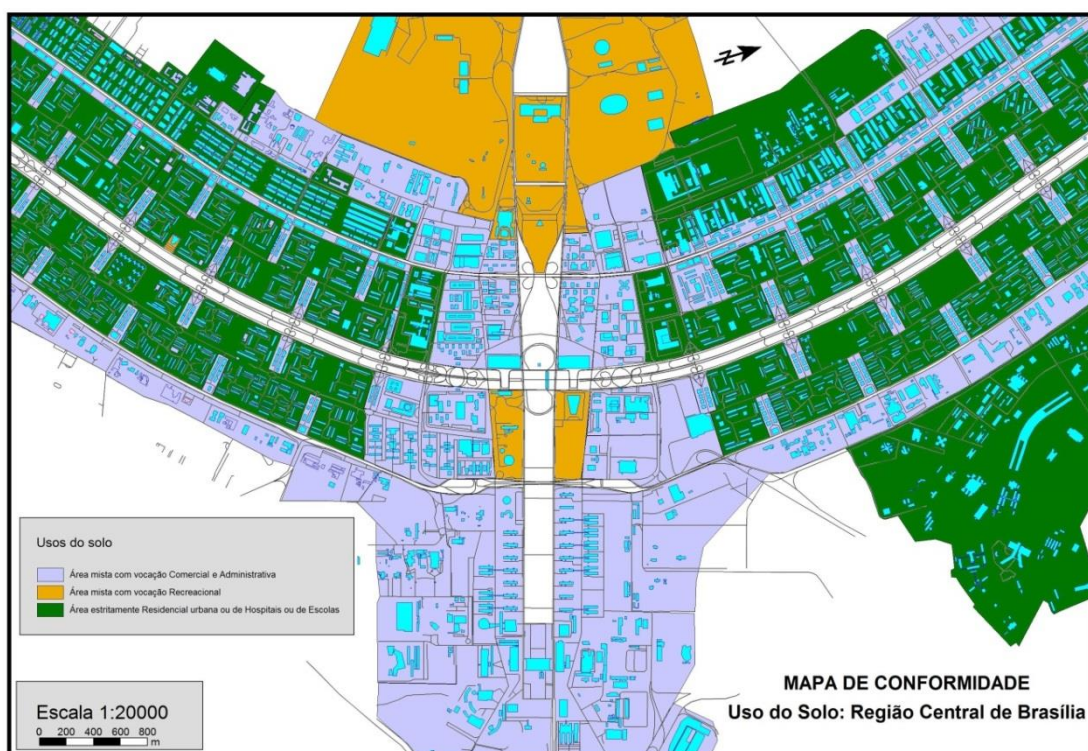


Figura 5.8: Mapa de Conformidade: Uso do solo da Região Central de Brasília

A seguir, as Figuras 5.9 e 5.10 permite analisar os Mapas de Conformidade da área de estudo referentes ao período diurno e noturno, respectivamente, elaborados para o cenário de 2012. O mapa de conformidade apresenta o resultado comparado entre o nível de pressão sonora estimada para cada região e limites estabelecidos pela Lei 4.092/2008 do Distrito Federal.

Os níveis de ruídos encontrados nesta área de estudo podem ser considerados ruins, pois sendo uma área mista, os níveis não devem ultrapassar os 55 dB(A) no período diurno e de 50 dB(A) no período noturno. Assim, pode-se constatar que os NPS mais intensos ocorrem nos locais onde há um maior fluxo de veículos, ou seja, próximo a via principal. Estes valores estão representados pelas cores escuras e ultrapassam o valor da norma em mais de 20 dB(A).

Para verificar a concordância entre níveis sonoros e normas vigentes, a aplicação de mapas de conformidade é uma alternativa para análise (Costa, 2011). Este tipo de mapa é capaz de gerar informações por sobreposição de curvas de níveis sonoros, possibilitando a análise do entorno urbano estudado em relação aos limites legais, como mostra as figuras 5.9 e 5.10.

De acordo com os mapas abaixo, que representam a conformidade ambiental no período diurno e noturno, respectivamente, percebe-se que os níveis de pressão sonora com o valor maior que o recomendado pela lei distrital 4.092/2008 encontram-se ao longo da via principal, isto se deve a grande circulação de veículos pesados o que causa altos índices de valores intoleráveis principalmente no horário de pico, conforme estudos realizado por Gravelli, 2013, que avaliou o ruído ambiental gerado pelo tráfego de veículos em Brasília. Assim, este aumento do NPS causa grandes incômodos à população, o que ocorre também no período noturno, porém com menor intensidade.

Com relação ao período noturno o nível de pressão sonora está representado na Figura 5.10. Comparando com o período diurno, verificou-se uma redução dos níveis de ruído nos pontos mais afastados da avenida principal, o que corresponde ao NPS em torno de 45 dB(A), por tanto próximo a via principal continua com os valores de NPS elevados, chegando em até 60 dB(A), por tanto ao analisar o mapa 5.10 nota-se um aumento de 15 dB(A) na via principal.

Os valores com baixos níveis sonoros nos locais mais afastados da fonte de ruído estão associados não somente a atenuação sonora com a distância, mas também, a participação das edificações e muros, os quais funcionam como barreiras a propagação do ruído gerado

pelo tráfego da avenida principal, fato mostrado também nas Figuras 5.2 e 5.3, referentes ao L_{dia} e L_{noite} do cenário atual de 2012.



Figura 5.9: Mapa de Conformidade período diurno – ano atual (2012)



Figura 5.10: Mapa de Conformidade período noturno – ano atual (2012)

No anexo B encontram-se os mapas de conformidade da situação futura (2020) sem a implantação do VLT nos períodos diurno e noturno e os mapas de conformidade futura (2020) com a implantação do VLT, nos períodos diurno e noturno, respectivamente.

5.4 AVALIAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL EM PONTOS ISOLADOS

A tabela 5.1 apresenta os valores do NPS medido pelos receptores, nos três cenários estudados, distribuídos em várias posições na área de estudo, referente aos três cenários estudados, em um total de 37 pontos. Estes pontos foram colocados tanto na Asa Sul, como na Asa Norte onde irá passar a linha 1 e também alguns pontos significativos nas margens da linha 2, região predominante composta por edifícios que abrigam órgãos dos governos Distrital e Federal. A altura dos receptores foi de 1,5 m com diferentes distâncias em relação à via principal de ambas as linhas. Os resultados foram obtidos através de simulações com o software SoudPlan.

Nas proximidades da W3 S/N (Linha 1) foram posicionados os pontos utilizando dois critérios. Primeiro em áreas próximas a edifícios sensíveis ao ruído e segundo os receptores foram distanciados em 0m, 15m, 30m, 45m, e 60m, a fim de avaliar a variação dos NPS com a distância. Já na Linha 2, foram posicionados os receptores nos setores de hotéis e próximos a sedes do Governo Federal e Distrital.

Além dos três cenários apresentados na seção 5.2, foi avaliado também no cenário futuro com o efeito apenas do VLT, representadas pelas duas últimas colunas da tabela 5.1. Portanto, no cenário atual (2012) e futuro (2020) sem o VLT, temos como fonte do ruído ambiental o tráfego rodoviário. No cenário futuro (2020) com VLT a fonte do ruído ambiental está representada pelo tráfego rodoviário e ferroviário.

Assim, ao analisar a Tabela 5.1 percebe-se nas áreas sensíveis que apenas nas áreas hospitalares estão com os NPS acima do permitido pela legislação chegando em até 65 dB(A) a uma distância de 35 m da via principal. Nas quadras 700 o NPS chega a 79 dB(A) no ponto de referencia localizado na via principal. Já na Linha 2 o setor hoteleiro é o mais prejudicado chegando ao NPS de 65 dB(A), o que prejudica as pessoas hospedadas.

5.1: Tabela de receptores

Local	Distância *	Cenário atual (2012)		Cenário Futuro 2020 sem VLT		Cenário Futuro 2020 com VLT		Cenário Futuro 2020 Apenas VLT		
		m	Ld dB(A)	Ln dB(A)	Ld dB(A)	Ln dB(A)	Ld dB(A)	Ln dB(A)	Ld dB(A)	Ln dB(A)
Linha 01 – Áreas Sensíveis	SQS 304 - Área Residencial	140	42	35	44	38	42	36	17	14
	SHIGS 705 - Área Residencial	50	47	40	49	43	46	39	29	27
	SQS 314 - Área Residencial	145	41	35	44	38	42	36	16	13
	SHCGN 705 - Área Residencial	113	42	36	45	38	42	35	19	16
	SQN 310 - Área Residencial	150	43	37	46	40	44	38	31	28
	SQN 314 - Área Residencial	145	41	35	43	37	42	35	15	13
	SQS 308 – Escola	120	43	37	45	39	43	37	20	17
	SQN 304 – Escola	190	41	35	44	38	43	36	21	18
	SHLS 716 - Setor Hospitalar	70	55	49	58	52	55	49	42	39
	SHLS 716 - Setor Hospitalar	35	65	58	67	61	64	57	48	46
	SHLN 516 - Setor Hospitalar	35	61	55	64	58	59	53	40	38
SHLN 516 - Setor Hospitalar	75	57	51	60	54	56	50	42	39	
Linha 01 – Variação NPS com a distância	SHIGS 702	0	78	71	79	73	76	69	55	52
	SHIGS 709	0	77	70	79	72	75	68	54	52
	SCLRN 704	0	78	70	79	72	76	68	54	51
	SCLRN 709	0	79	73	81	74	79	72	55	52
	SHIGS 702	15	70	64	72	66	69	62	50	47
	SHIGS 709	15	70	63	72	66	69	62	51	48
	SCLRN 704	15	70	63	72	65	69	61	49	46
	SCLRN 709	15	72	65	74	67	72	65	51	48
	SHIGS 702	30	64	58	67	61	64	57	47	45
	SHIGS 709	30	63	56	66	59	63	56	48	45
	SCLRN 704	30	64	57	67	60	63	56	47	44
	SCLRN 709	30	66	60	69	62	67	60	48	45
	SHIGS 702	45	61	54	63	57	60	54	46	43
	SHIGS 709	45	59	53	62	56	59	53	46	43
	SCLRN 704	45	61	54	63	57	60	53	47	44
	SCLRN 709	45	63	57	66	59	63	57	46	44
	SHIGS 702	60	57	51	60	54	57	51	45	42
SHIGS 709	60	57	50	60	54	57	50	44	41	
SCLRN 704	60	57	51	61	54	57	51	45	42	
SCLRN 709	60	61	54	64	57	61	54	45	42	
Linha 02	Congresso Nacional	110	58	50	60	53	60	53	43	40
	Explanada Ministérios	50	59	53	62	56	62	56	42	39
	Praça Buriti	35	67	60	72	62	72	62	43	40
	Setor Hoteleiro Norte	40	61	54	64	57	64	56	37	34
	Setor Hoteleiro Sul	40	65	59	67	61	67	61	42	39

Legenda:
 SQS – Super Quadra Sul
 SQN – Super Quadra Norte
 SHIGS - Setor de Habitação Individual e Germinadas Sul
 SHCGN - Setor Habitacional de Casas Geminadas Sul
 SHLS - Setor Hospitalar Local Sul
 SHLN - Setor Hospitalar Local Norte
 SCLRN - Setor Comercial Local Residencial Norte

*Distância: distância em metros ao centro da via mais próxima.

5.5 PERCENTUAIS DA POPULAÇÃO EXPOSTA

A cidade de Brasília, por fazer parte das grandes cidades brasileiras, nos últimos anos tem passado por este problema de ruído ambiental, devido à expansão urbana como também o aumento da população segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE entre as capitais, a Região Administrativa de Brasília – DF teve a quarta maior taxa de crescimento demográfico anual de 2,25 % em 2010 ficando atrás apenas do Amapá com 3,4%, Roraima 3,3% e Acre com 2,57% (IBGE, 2010). A população de Brasília é de 2,5 milhões, as taxas de crescimento da população são das maiores do Brasil, conforme o IBGE, no Plano Piloto a população total é de 214.529 e a população das vizinhanças do VLT é de aproximadamente 63.000 pessoas.

A Tabela 5.2 apresenta o resultado da população exposta diurna a cada faixa de curva de ruído proveniente do tráfego rodoviário e ferroviário, conforme os limites estabelecidos pela Lei nº 4.092/2008, em relação à população exposta da Região Administrativa de Brasília. Estes resultados estão representados de acordo com os cenários atual (2012), cenário futuro (2020) sem o VLT e o cenário futuro (2020) com VLT.

A análise da Tabela 5.2 corresponde a curva L_{dia} . Com esses valores foi possível fazer uma estimativa da quantidade da população exposta por faixa de curva de ruído de 50 dB(A) até 70 dB(A) para o modal rodoviário e ferroviário, como pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 5.2: População Exposta Curva de ruído Rodoviário - L_{dia}

L_{dia}		Cenário atual (2012)		Cenário Futuro sem VLT (2020)		Cenário Futuro com VLT (2020)	
Curvas	Limites	Ld dB(A)	%	Ld dB(A)	%	Ld dB(A)	%
L_{dia} 50	$50 < L_{dia} \leq 55$	49.948	79%	48.724	77%	57.277	91%
L_{dia} 55	$55 < L_{dia} \leq 60$	5.977	9,5%	6.050	9,5%	1.888	3%
L_{dia} 60	$60 < L_{dia} \leq 65$	2.577	4,5%	2.823	5%	1.510	2,4%
L_{dia} 65	$65 < L_{dia} \leq 70$	2.240	3,5%	2.700	4,5%	1.257	2%
L_{dia} 70	$L_{dia} > 70$	2.200	3,5%	2.645	4%	1.010	1,6%
TOTAL	62.942	62.942	100%	62.942	100%	62.942	100%

Para a lei distrital 4.092/2008 o valor máximo para as áreas mista com predominância residencial é de 55 dB(A) para o período diurno. Portanto, ao analisar a Tabela 5.2 tem-se um percentual de 21% da população exposta ao ruído ambiental no cenário atual (2012), para o cenário futuro (2020) sem o VLT tem-se um percentual de 23% da população

exposta ao ruído e no cenário futuro (2020) com VLT 9% da população encontra-se exposta ao ruído ambiental.

Para o período noturno a Lei Distrital estabelece o limite máximo de 50 dB(A) para a área mista com predominância residencial. Portanto, ao analisar a Tabela 5.3 que representa a população exposta no período noturno observou-se que 13% da população encontram-se exposta ao ruído ambiental no cenário atual (2012), para o cenário futuro (2020) sem o VLT foi estimado um percentual de 16% da população exposta e no cenário futuro (2020) com VLT este percentual da população exposta ficou em torno de 14,5%.

Tabela 5.3: Pop. Exposta Curva de ruído Rodoviário - L_n

L_n		Cenário atual (2012)		Cenário Futuro sem VLT		Cenário Futuro com VLT	
Curvas	Limites	Ln dB(A)	%	Ln dB(A)	%	Ln dB(A)	%
$L_n 45$	$45 < L_n \leq 50$	54.000	87%	52.855	84%	54.758	85,5%
$L_n 50$	$50 < L_n \leq 55$	2.957	4,4%	3.147	5%	4.170	7%
$L_n 55$	$55 < L_n \leq 60$	2.202	3,2%	2.517	4%	1.653	3%
$L_n 60$	$60 < L_n \leq 65$	1.950	2,8 %	2.274	3,6%	1.338	2,5%
$L_n 65$	$L_n > 65$	1.833	2,6 %	2.149	3,6 %	1.023	2%
TOTAL	62.942	62.942	100%	62.942	100%	62.942	100%

A exposição da população, ao ruído e seu incômodo, não é, no entanto, uma característica apenas de cidades brasileiras, tem sido constatada em cidades internacionais como na cidade de Fulton (EUA), que mostra nos resultados que 48% da população foi exposto a curva de ruído de 55 dB(A), 9% estão expostas a curva de ruído superior a 67 dB(A). No período noturno estima-se uma porcentagem de 32% da população exposta a níveis de ruído acima de 50 dB(A) (JEONG et al., 2011).

Na cidade de Dublin (Irlanda) a proporção de pessoas exposta ao ruído é maior no período noturno em relação ao período diurno. Assim, os resultados mostram que durante o dia 28% estão exposto a níveis de ruídos acima de 70 dB(A), enquanto o valor correspondente para o período noturno superior 45 dB(A) é de 90% (KING et al., 2009).

5.6 PERCENTUAIS DA POPULAÇÃO COM DISTÚRBIOS NO SONO

A Tabela 5.4, mostra os resultados estimados dos percentuais calculados que representa a população exposta (PE), o número de pessoas com o sono levemente perturbado (PSLP),

quantidade de pessoas com distúrbios no sono (PDS), e o número de pessoas com o sono altamente perturbado (PSAP), esses dados foram realizados conforme polinômios apresentados na tabela 3.5 localizada na pág. 67.

Tabela 5.4: Pessoas Distúrbios no Sono Rodoviário

L_n	Cenário atual (2012)			Cenário Futuro sem VLT			Cenário Futuro com VLT		
	PSLP	PDS	PSAP	PSLP	PDS	PSAP	PSLP	PDS	PSAP
L_n 45	15.608	7.959	325	25.000	13.752	486	13.589	6.696	289
L_n 50	311	435	540	238	346	688	235	343	535
L_n 55	144	220	395	170	256	445	193	287	445
L_n 60	118	183	289	154	234	339	180	270	418
L_n 65	122	188	1.325	154	256	1.755	122	258	325
TOTAL	16.303	8.985	2.874	25.716	14.844	3.713	14.319	7.855	2.012

Em relação ao limite estabelecido entre $45 < L_n \leq 65$ têm-se uma população exposta de 62.942 para cada um dos três cenários analisados. Para o cenário atual (2012) a L_n 65 apresentam 1.325 (46%) teriam o sono altamente perturbado, 188 com distúrbio durante o sono (2%). A existência de pessoas situadas o interior da curva L_n 65 estão em desacordo com a legislação, que de acordo com a Norma 10.151 (ABNT, 200), nesta região da curva L_n 65 é esperado um número alto de reclamações por parte dos moradores, pois as interferências no sono são mais percebidas.

No limite referente a curvas L_n 50, encontram-se 435 (4.9%) pessoas com distúrbios do sono, 540 (18,7%) com o sono altamente perturbado. Porém, de acordo com a lei distrital 4.092/2008 pode-se observar que estas curvas de ruído encontra-se em conformidade com a legislação, que estabelece o limite de 50 dB para áreas residenciais no período noturno, portanto, não são esperados reclamações nestas áreas.

Em relação ao cenário futuro (2020) sem VLT a Tabela 5.4 acima mostra a distribuição das pessoas com distúrbios no sono. Por tanto, para a curva 50 dB (A) tem-se 346 (2,3%) pessoas com este distúrbio. Para a curva de 55 dB (A), tem-se 256 (1,7%) pessoas. Já para as curva 60 e 65 dB (A), este número é ainda menor, com 234 (1,6%) e 256 (1,7%) pessoas, respectivamente. Por tanto, tem-se um total de 1.092 pessoas com o distúrbio no sono.

A Tabela 5.4 mostra também a população com o sono altamente perturbado com um total de 3.713 pessoas. Levando em conta a curva 50 dB (A) possui uma população de 688

(18,5%) altamente incomodadas com o ruído. No que diz respeito às curvas 55 dB (A) apresenta um população de 445 (11,9 %) com o sono altamente perturbado, para o curva de nível de ruído 60 dB (A) tem-se 339 (9,1%) e por fim, a curva 65 dB (A) fica em torno de 1.755 (47%) da população com o sono altamente perturbado.

Para o cenário futuro (2020) com VLT a Tabela 5.4 mostra a distribuição das pessoas em relação aos distúrbios do sono, estes estão distribuídos da seguinte forma: 50 dB(A) possuem 1,158 pessoas com distúrbio no sono e 1.243 pessoas com o sono altamente perturbado.

Assim, podemos perceber que o maior número de Distúrbio no sono encontra-se no cenário futuro (2020) sem VLT. Isso reflete devido o aumento do fluxo de veículos no decorrer dos anos sem que aconteça uma mitigação para resolver o problema do ruído provocado pelo tráfego rodoviário existe na via de estudo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1: CONCLUSÕES

Nesta dissertação foi realizado o mapeamento do ruído para a RA de Brasília – DF e efetuada uma comparação do cenário atual (2012) com cenários futuros (2020) sem o VLT e com a implantação do VLT, referentes ao ruído ambiental. Posteriormente, foi realizada a comparação dos níveis de ruídos existentes com o que é atualmente exigido pelos limites estabelecidos pela Lei Distrital 4.092/2008. Em seguida determinou-se a população exposta a cada nível de ruído existente na área de estudo para em seguida realizar a quantidade de população incomodada com o ruído no período noturno.

Nos resultados dos impactos sonoros para os cenários estudados, permitiu verificar a existência de NPS acima do permitido pela lei distrital nas vias principais. Este índice elevado é devido o aumento do ruído rodoviário nos centros urbanos, e possui maior intensidade nas curvas de ruído acima de 60 dB(A) para o período diurno. Já na avaliação do impacto sonoro para o período noturno, apresenta potencial de gerar incômodo o que ocasiona perturbações no sono principalmente nos intervalos das curvas de ruído acima de 50 dB(A).

O estudo indica que a partir da implantação do VLT na Avenida W3 S/N ocorrerá uma melhoria do ruído ambiental da região estudada, devido à redução de 30% dos veículos leves e de 75% dos veículos pesados. Assim, as simulações apontaram para uma redução de até 2 dB(A) no cenário futuro com o VLT na vizinhança da via. Com a realização das simulações computacionais, foi possível mostrar que nos cenários estudados as edificações às margens da via principal estão expostas a maiores níveis sonoras em relação às edificações mais recuadas, pois todos os resultados mostrados nos cenários revelam que o ruído emitido principalmente no período diurno superam o limite de 60 dB(A), valor não permitido pela lei distrital 4.092/2008.

Ao realizar a análise dos receptores isolados, pode-se concluir que, nas áreas sensíveis ao ruído referente a linha 1, a área hospitalar é o mais prejudicado com NPS acima de 60 dB(A) no período diurno e de 50 dB(A) no período noturno, já na linha 2, o setor hoteleiro

é o mais prejudicado, também com valores acima de 60 dB(A) para o período diurno de 50 dB(A) para o período noturno. Porém, estes valores não são aceitáveis pela legislação distrital.

A partir do levantamento do número de pessoas expostas por faixa de ruído proveniente do tráfego veicular na via W3 S/N, chega-se a conclusão que no cenário atual (2012) 21% da população encontram-se exposta ao índice elevado de ruído, para o cenário futuro com o VLT este número está em torno de 9%, o que indica a necessidade do Plano de Redução de Ruídos – PPR. Estes números são altos devido ao fator de ser uma área mista predominantemente residencial.

Pôde-se ainda, através deste estudo, estimar o número de pessoas incomodadas e altamente incomodadas por faixa de ruído para o indicador L_{noite} . Assim, temos para o ano de 2012 uma estimativa de 14,3% de pessoas com distúrbios no sono e 4,5% de pessoas com o sono altamente perturbado. Para o cenário futuro com a implantação do VLT a estimativa é de 12,5% de pessoas com distúrbio no sono e de 3,2% de pessoas com o sono altamente perturbado.

Assim, conclui-se que a exposição ao ruído é uma realidade que faz parte do cotidiano de pessoas residentes em cidades de médio e grande porte. Os resultados desta pesquisa comprovam que estudos sobre os efeitos do ruído nos centros urbanos são necessários, para que medidas de prevenção e controle sejam tomadas por parte não somente da população afetada, mas, também, pelos órgãos de gestão competentes sobre o assunto para que estes valores passam a ser aceitáveis, dentro das normas vigentes, e, ainda, trazer conforto a população e evitar, assim, danos à saúde e, sobretudo, melhorar a qualidade de vida das pessoas que residem em regiões com essas características.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Realizar o estudo do impacto sonoro nas fachadas dos empreendimentos próximos aos modais de transporte da área de estudo.

- Realizar o estudo dose-efeito para avaliar o efeito do ruído sobre as populações.
- Incorporar no Plano de Desenvolvimento e Ordenamento Territorial – PDOT das cidades o mapa de ruídos.
- Criar uma Legislação semelhante a aprovada em São Paulo e na Comunidade Europeia.
- Utilizar os resultados dos mapas de conformidade para propor uma PPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASM (2001) *The International Classification of Sleep Disorders, Revised: Diagnostic and Coding Manual*. American Academy of Sleep Medicine.
- ABNT. NBR (2000) NBR 10.151: *Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas Rio de Janeiro*.
- ABNT. NBR (1987) NBR 10.152: *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ALOUICHE, P. (2008): *Corredores Urbanos de Transportes para Altas Demandas: BRT's – Ônibus, Metrô e VLT's. Porto Alegre nos Trilhos. Soluções Integradas de Transporte*. Disponível em: <http://www.cbtu.gov.br/eventos/serie/portoalegre/pdf>. Acesso em 17/05/2014.
- ALSTOM (2012): *Generating sustainable mobility*. Disponível em: Acesso em: 25 jul. 2014.
- ALVES, L. R; PINTO, D. N. ARAÚJO, V. M. D. ARAÚJO, B. C. D. (2014): *Mapeamento Acústico da Concentração de Denúncias de Poluição Sonora em Natal – RN*. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, AL.
- ANPTRILHOS (2014): Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos.
- ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICOS (2012): *O Transporte Público e o Trânsito para uma Cidade Melhor*. ANTP. Disponível em: <http://www.ongprojetcidam.org.br/arquivos_upload/Carilha.pdf> Acesso em: 10 mar. 2014.
- ANTP - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICOS (2012):. Disponível em:<<http://www.antp.org.br>>. Acesso em: 08 de maio de 2014.
- APA - Agência Portuguesa do Meio Ambiente . (2011): *Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*. Disponível em <http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/DirectrizesMapasDez2011_todo_2.pdf>Acesso em 23 de novembro de 2014.
- ARANA, M.; GARCIA A. A (1997) *Social Survey on the Effects on Environmental Noise on the Residents of Pomplona, Spain*. Applied Acoustics 1998;53:245–53.
- ARANA, M.; SAN MARTIN, R.; SAN MARTIN, M.L. (2010): *Strategic Noise Map of a Major Road Carried out With Two Environmental Prediction Software Packages. Environmental Monitoring and Assessment*. v. 163, p. 503-513.
- ASENSIO C., M. RECUERO, M. RUIZ, M. AUSEJO E I. PAVÓN. (2011). *Self-adaptive Grids for Noise Mapping Refinement*. Applied Acoustics, v. 72, p. 599–610.
- BABISCH, W., B. BEULE, et al. (2004): *The Impact of Annoyance from Different Noise Sources in the Risk of Myocardial Infarction -Results from the NaRoMi Study*. The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Czech Republic - Prague: Inter-noise.
- BARRETTO, D. M.. (2007): *Impacto Sonoro da Implantação do Metrô de Salvador em Edificações Adjacentes, Considerando os Reflexos na Saúde*. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.
- BARRETTO, D. M.. (2008): *Importância de Mapas de Ruído na Análise do Impacto dos Transportes*. XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC. Belo Horizonte.

- BELOJECIC, G.; JAKOVLJECIC, B.O. (1997): *Subjective Reactions to Traffic Noise with Regard to Some Personality Traits*. Environment International, Vol.23 pp. 221- 226.
- BHATTACHARJEE, S.; GOETZ, A. R. (2012): *Impacto of Light Rail on Traffic Congestion in Denver*. Journal of Transporte Geography. V.22, P. 262-270.
- BORGES, R. C. N. (2006): *Definição de Transporte Coletivo Urbano*. Consultoria Legislativa. 2006.
- BRANDÃO, V. B. (2009) *W3 Sul, Ontem, Hoje e Amanhã - Os Dilemas de Uma Avenida Modernista*. 8º Seminário Docomomo Brasil Cidade Moderna e Contemporânea: Síntese e Paradoxo das Artes. Rio de Janeiro.
- BRAUNSTEIN et al. (2014): *User's Manual SoundPLAN 7.3*.
- BRUEL & KAJAER. (2000): *Environmental Noise. Denmark: Bruel & Kajaer & Vibration Measurement A/S*.
- BUNN, F. (2013): *Avaliação da Poluição Sonora Gerada pelo Tráfego Ferroviário na Cidade de Curitiba*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba.
- BUS RAPID TRANSIT – BRT. (2008): *Manual BRT*. Guia de Planejamento.
- CAI, M.; ZOU, J.; XIE, J.; MA, X. (2013): *Road Traffic Noise Mapping in Guangzhou Usig GIS and GPS*. Applied Acoustics.
- CALLAI, S. C. (2008): *Perfil da Influência da Poluição Sonora em Rrodovias*. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.
- CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA, *Cadna A - Modelo de Simulação de Ruído*. Disponível em: <http://lisboaverde.cm-lisboa.pt/index.php?id=4073>. Acesso em: 12 de novembro de 2015.
- CÂMARA MUCICIPAL DE SÃO PAULO: Disponível em: Acesso 15 jun. <http://camaramunicipalsp.qaplaweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0075-2013.pdf>
- CAMPOS, V. B. G. (2013): *Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos de Análise*.
- CANTIERI, E. (2010): *Elaboração de um Mapa de Ruído para a Região Central da Cidade de Curitiba-PR*. Produção on-line, v. 10, n. 1. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/239/576>>. Acesso em: 16 fev. 2015.
- CARRIÇO, F.; CABRITA, P. (2013): *Integração do Fator Ambiental Ruído no Processo de Elaboração e Revisão dos Planos Diretores Municipais*.
- CARVALHO Jr. E. B. (2015): *Quantificação do Incomodo Gerado pelo Ruído Aeronáutico por Meio de Modelos Dose-Resposta*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação de Mestrado em Transporte. Universidade de Brasília – UB. Brasília – DF.
- CARVALHO Jr., E. B.; GARAVELLI, S. L. (2010): *Avaliação do Ruído Aeronáutico em Regiões Circunvizinhas ao Aeroporto Internacional de Brasília*. PLURIS.
- CARVALHO Jr. E. B.; GARAVELLI, S. L.; MAROJA, A. M.. (2012): *Análise dos Efeitos do Ruído Aeronáutico em Zonas Residenciais Circunvizinhas ao Aeroporto Internacional de Brasília*. Journal of Transport Literature, v. 6, p. 59-81.
- CASTRO, M. B. (2011): *Melhores Práticas para a Avaliação Econômica de Projetos de Transporte: O Estudo do Caso do VLT de Brasília*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB.

- CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos. Especificações Técnicas do VLT Padrão. Acesso em www.cbtu.gov.br em 19.08.2014.
- CEFTRU (2007a) *Relatório da Base de Fundamentos e Critérios para a Avaliação, Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Atributos*. Centro Interdisciplinar de Estudos em Transportes da Universidade de Brasília, Brasília.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2013): *Emissão Veicular no Estado de São Paulo*. Serie Relatórios. São Paulo.
- CHO, S. D.; KIM, J. H.; MANVELL, D. (2006): *Noise Mapping Usig Measured Noise and GPS Data*. ScienceDirect.
- CIRCULA BRASÍLIA. (2016): <http://agenciabrasilia.df.gov.br/2016/05/24/capital-tera-277-km-de-rede-integrada-de-transporte-publico/>. Acesso: 20 junho/2016.
- CODEPLAN/ SICAD. *Sistema Cartográfico do Distrito Federal*. Brasília, CODEPLAN, 2010.
- COMPANHIA BRASILEIRA DE TRENDS URBANOS. *VLT Padrão Nacional: Desenvolvimento e Fabricação de Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para Transporte Urbano e Regional de Passageiros*. CBTU, 2010. Disponível em: Acesso em: 10 mar. 2013.
- METROFOR – COMPANHIA CEARENSE DE TRANSPORTES METROPOLITANOS (2013): *Projeto Baseados em Veículos Leve sobre Trilhos em Operação e Implantação*.
- COMPANHIA METROPOLITANO DO DISTRITO FEDERAL - METRÔ-DF. (2013): Edital 001/2013. *Edital de Pré-Qualificação 001/2013*. Disponível em <http://www.metro.df.gov.br/informacoes/licitacoes/408-pre-qualificacao-0012013.html>. Acesso 10 abril 2014.
- COMPANHIA METROPOLITANA DO DISTRITO FEDERAL METRÔ-DF (2014). Disponível em . Acessado em 10 de novembro de 2014.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 001/1990- “Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais” – data da legislação: 08/03/1990 – Publicação DOU, pág. 6408.
- _____.CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2000). *Resolução n. 272, de 01 de junho de 2000*. Dispõe sobre novos limites máximos de emissão de ruídos por veículos. Brasília. 2000.
- COSTA, C. A. (2011): *Previsão dos Ruídos Ambientais no Setor Noroeste/Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Planejamento Ambiental. UCB, Brasília.
- COSTA, S. B.; LOURENÇO, R. W. (2010): *Geoprocessing Applied to the Assessment of Environmental Noise: A Case Study in the City of Sorocaba, São Paulo, Brazil*. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 172, p. 329-337.
- De BRUIJN, H. e W. VEENEMAN. (2009): *Decision-making for Light Rail*. *Transportation Research*. v. 43, p. 349- 359.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. (2015): *Frota de Veículos*. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br>. Acesso em Abril de 2015.
- DIRECTIVE 2002/49/EC (2002): *Diretiva do Parlamento Europeu do Conselho da União Europeia Relativa à Avaliação e Gestão de Ruído Ambiente*. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, v. L 189/12, p.48.

- DISTRITO FEDERAL. Lei Distrital Nº 4.092, de 12 de março de 2008. *Dispõe sobre o controle da poluição sonora e os limites máximos de intensidade da emissão de sons e ruídos resultantes de atividades urbanas e rurais*. Acesso em 25 nov. 2013. Disponível em www.sedhab.df.gov.br/sites/300/379/00000924.pdf. electric cars and light rail. Energy Policy (2013).
- DONATO, V. (2008): *Logística Verde: Uma Abordagem Sócio-ambiental*. Rio de Janeiro.
- ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. (2006): *A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal*, Brasil. *Holos Environment*, v. 6, n. 2, p. 137. ISSN: 1519-8421 (CD-ROM). ISSN: 1519-8634
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. (2004): *Transporte Público Urbano*. 2. ed. São Carlos: Rima.
- FERREIRA, M. S. (2008) Planilha de recomendações para projetos que visem o conforto acústico em edificações marginais as vias de tráfego. 2008. Projeto de pesquisa (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura – Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.
- FOGLIATTI, Maria Cristina. (2004): *Avaliação de Impactos Ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro, Interciência.
- GARAVELLI, S. L. (2013): *Mapa de Ruído de Brasília*. Brasília-DF.
- GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. (1992): *Diretrizes Ambientais para o Setor Transportes*. GEIPOT, Brasília.
- _____. (2004): *Noise in large cities in Brazil*. *Journal of the Acoustical Society of America, Brazil*, v. 115, n. 5, p. 2592-2593.
- GIUNTA, M.B. (2013): *Análise de Modelagem de Previsão Acústica e Mapeamento Sonoro para a Cidade de São Carlos-SP*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. (2007): *Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação. Termo de Referência para o concurso de ideias e estudos preliminares de arquitetura e urbanismo para revitalização das vias W3 Norte e Sul*. Brasília.
- GDF – GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL (2012): *Metrô Leve de Brasília*. Acesso em 15 jun. 2014.
- GRENIER, A., PAGE, S., (2012): *The Impact of Electrified Transport on Local Grid Infrastructure: A comparison Between Leeuwen H. Noise Emission of Light-Rail Vehicles - State of the art*. In: Proceedings of 5th European Conference on Noise Control; 2012 May 19-21; Naples, Italy.
- GRINOVER, L. (1989): *O planejamento físico-territorial e a Dimensão Ambiental*. São Paulo: FUNDAP, Cad. FUNDAP, n.9, v.16. p. 25-32.
- GRUPO CCR. (2012): *Estudo Preliminar e Provisório de Implementação do Veículo Leve Sobre Trilhos na Região Portuária e Centro do Rio de Janeiro*. Porto Maravilha. Disponível em: <http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/projeto-funcional-do-vlt-porto-maravilha.pdf>. Acesso em: 01 setembro 2014.
- GUEDES, I. C. M.; KOHLER, R.; CARVALHO, R. M. (2014): *Estudo de Impacto do Ruído de Tráfego Veicular em Aracaju (SE) – Brasil*. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas. Anais... Campinas: SOBRAC, 2014. p. 26 – 33.
- GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. (2011): *Influence of Urban Shapes on Environmental Noise: A Case Study in Aracaju – Brazil*. Science of The Total Environment. Volumes 412–413, Pages 66–76.

- GUEDES, M.; LEITE, M. J. (2005): *Projecto-piloto de Demonstração de Mapas de Ruídos – Escalas Municipal e Urbana*. Lisboa: Instituto do Ambiente.
- HARALABIDIS, A. S., DIMAKOPOULOU, K., VIGNA-TAGLIANTI, F., (2008) *Acute Effects of Night-time Noise Exposure on Blood Pressure in Populations Living Near Airports*. *European Heart Journal*. 29: 658-664 p.
- HODGSON, P.; POTTER, S.; WARREN, J.; GILLINGWATER, D. (2013). *Can Bus Really be the New Tram? Research in Transportation Economics*. 39(1) pp. 158–166.
- HUNASHAL, R. B. (2012): Assessment of Noise Pollution Indices in the City of Kolhapur, India. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. (37),448-457.
- IBGE – INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010): *Sinopse do Censo Demográfico*. Disponível em: <http://ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=df>. Acesso em 15 de fev 2015.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2003). *Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileiras*. Relatório Executivo. Brasília.
- ISING, H., W. B. (2002): *Exposure and Effect Indicators of Environmental Noise*. Berlin - Germany: WHO.
- JAKOVLJEVIC, B., PAUNOVIC, K., BELOJEVIC, B.(2009) *Road-Traffic Noise and Factors Influencing Noise Annoyance in an Urban Population*. *Environment International*. 35, 552 – 556p.
- JARUP, L., DUDLEY, M. L., BABISCH, W. (2005) *Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): Study Design and Noise Exposure Assessment*. *Environmental Health Perspectives*. 113: 1473-1478 p.
- JARZAB, J.; LIGHTBODY, J.; MAEDA, E. (2002). *Characteristics of Bus Rapid Transit Projects: An Overview*. *Journal of Public Transportation*, Vol. 5, No. 2.
- JEONG C. S, TAE H. P, JOON H. K, SEO I. C, MINHO K., JAMES B. H., MOHAMMED R. M. (2011): *Modeling of Road Traffic Noise and Estimated Human Exposure in Fulton County Georgia, US*. *Environment International*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/envint.
- JOON HEE KO, SEO IL CHANG, MINHO KIM, JAMES B. HOLT, JEONG C. SEONG. (2013). *Transportation Noise and Exposed Population of an Urban Area in the Republic Of Korea*. *Journal Environment International*.
- KANG, J. (2007): *Urban Sound Environment*. New York, USA. Tylor & Francis.
- KAG-TING TSAI; LIN, M. E CHEN,Y. (2009): *Noise Mapping in Urban Environments: A Taiwan Study*, *Applied Acoustics*, 70, 960-972.
- KEPHALOPOULOS, S.; PAVIOTTI, M.; ANFOSSO-LÉDÉE F.; MAERCKE, D. V.; SHILTON, S.; JONES, N. (2014) *Advances in the development of common Noise Assessment Methods in Europe: The CNOSSOS-EU Framework for Strategic Environmental Noise Mapping*. *Journal of Environmental Management*. P. 400-410.
- KING, E.A.; MURPHY, E.; RICE, H.J. (2011): *Implementation of the EU Environmental Noise Directive: Lessons from First Phase Strategic Noise Mapping And Action Planning In Ireland*. *Journal of Environmental Management*. V.92,p. 756-764.
- KING, E. A.; RICE, H.J. (2009): *The Development of a Practical Framework for Strategic Noise Mapping*. *Applied Acoustics*, v. 70, p. 1116-1127.

- LEEUWEN, H. (2003): *Noise emission of Light-Rail Vehicles - State of the art*. Proceedings of 5th European Conference on Noise Control, Naples, Italy. 2003.
- LEMES, D.C.S.S. (2005). *Geração E Análise Do Cenário Futuro Como Um Instrumento do Planejamento Urbano e de Transportes*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.
- LICITRA, G.; ASCARI, E.; BRAMBILLA, G. (2012): Comparative Analysis of Methods to Estimate Urban Noise Exposure of Inhabitants. *Acta Acustica United With Acustica*. Vol. 98.
- LITMAN, T. (1996): *Transportation cost analysis: techniques, estimates and implications*, Victoria Transport Policy Institute, Vancouver, Canadá.
- _____ (2006): *London congestion pricing: implications for other cities*. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, BC, Canadá.
- MAIA, M. A. L.; SATTTLER, M. A. (2003): *Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre*. In: *Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído*, 7; Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 3, Curitiba. Anais... Curitiba: UFSC, 2003. p. 761-769.
- MAROJA, A. M., Garavelli, S. L., Carvalho Jr., E. B. (2011): *Noise Mapping Using Vehicles Electronic Speed Controllers*. In: 18th International Congress on Sound and Vibration; Rio de Janeiro, Brasil.
- MAROJA, A. M.; SANTOS, F.S.; CARVALHO Jr, E. B.; GARAVELLI, S. L. (2014): *Análise Espacial do Impacto Ambiental Acústico Provocado pela Implantação do VLT na Avenida W3 Sul de Brasília – DF*. Brasília-DF.
- MARQUES, A.P.C.; MIRANDA, A.L.; MONTEIRO, G. T. R. (2015): Prevalence of hearing loss in adolescents and young adults as a result of social noise exposure: meta-analysis. *Revista CEFAC*. Rio de Janeiro – RJ.
- MEDDE – MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE. (2012): *O renascimento do VLT na França, 2012*. Disponível em: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/tramway_POR.pdf>. Acesso em: 09 de jun. 2014.
- MEDEIROS, L. B. (1999): *Ruído: Efeitos Extra-Auditivos no Corpo Humano*. Porto Alegre.
- MELO, W. C. (2015): *Impacto Sonoro Provocado por Polo Gerador de Viagem: Aeroporto Interacional de Brasília*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação de Mestrado em Transporte. Universidade de Brasília – UB. Brasília – DF.
- MENDONÇA, A. B. D. SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; VIVIANI, E. (2013): *Classes de Quadras Urbanas Determinadas pelos Níveis de Ruídos*. *Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)*, V.5, n.2, p. 63-77.
- MENEZES, M. R. (2008): *O Lugar do Pedestre o Plano Piloto de Brasília*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília-DF.
- METRÔ-DF – Companhia Metropolitana do Distrito Federal (2013). Acessado em 10 de novembro de 2014.
- MIEDEMA, H. M. E, Passchier-Vermeer W., Vos, H (2003): *Elements For A Position Paper On Night-Time Transportation Noise And Sleep Disturbance*. TNO Inro, Delft, 2002-59.
- MIEDEMA, H. M. E e Oudshoorn, C. G (2001): *Annoyance From Transportation Noise: Relationships With Exposure Metrics Dnl And Denl And Their Confidence Intervals*. *Environmental Health Perspectives*. v. 109, n. 4, p. 409 - 416.

- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2013): *Programa de Aceleração do Crescimento: Ações do MT*
Disponível em: www.transportes.gov.br conteúdo. Acesso: mar/2014.
- MOBILIZE (2016): Mobilidade Urbana Sustentável. Disponível em: <http://www.mobilize.org.br>.
- MORAES, E. M. L. (2006): *Relatório de Pesquisa do Projeto Mapa Acústico de Belém*. Realização: Universidade da Amazônia – UNAMA, Pró-reitora de Pós-graduação, Pesquisa e Extensão - Superintendência de Pesquisas – Núcleo de Qualidade de Vida e Meio Ambiente. Belém, PA.
- MORAIS, A. C.; NEIVA, E. R.; ARAGÃO, J. J. G. (2011): *Entendendo a Rede de Atores de um Projeto de Transporte Urbano: Caso do VLT de Brasília*. Transporte v. 19, n.2. p. 25-33.
- MORILLAS, J.M.B.; GÓMEZ, R.V.G.; ESCOBAR, V.G; SIERRA, J.A.M.; VIDAL, C.T.; BUENO, L. A.; MARTÍNEZ, J. M.V. (2002): *Presentación de una Encuesta para la Realización de Estudios Sociales Sobre el Impacto del Ruido Urbano*. Revista de Acustica. Vol. XXXIII. nos 1 y 2. p 27-31.
- MURGEL, E. (2000). *Especificação do Pavimento como Agente de Controle de Ruído de Tráfego*. Anais do XIX Encontro da SOBRAC.
- MURPHY, E., KING, E. A., RICE, H. J. (2009). *Estimating Human Exposure To Transport Noise in central Dublin*, Ireland, Environment International, 35(2), 298-302.
- MURPHY, E. e KING, E. A. (2010). *Strategic Environmental Noise Mapping: Methodological Issues Concerning the Implementation of the EU Environmental Noise Directive and Their Policy Implications*. Environment International, 36, 290–298.
- NARDI, ALINE SOUZA LOPES VENTURA. (2008): *Mapeamento Sonoro em Ambiente Urbano. Estudo de Caso: Área Central de Florianópolis*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.
- NTU. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. (2012): *Prioridade para o Transporte Coletivo Urbano*. Brasília – DF. .
- NUNES, M. F. O.; SANTOS, J. P. *Estudo do ruído de tráfego veicular em Santa Maria*. In: Congresso Iberoamericano de Acústica, 1; Simpósio de Metrologia e Normatização em Acústica do Mercosul, 1; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 18, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis:SOBRAC, 1998. p. 511-514.
- PDTU/DF – Plano Diretor de Transporte Urbano e Mobilidade do Distrito Federal e Entorno. (2010). Disponível em http://editais.st.df.gov.br/pdtu/final/relatorio_final.pdf. Acesso em 5 abril 2014.
- PINTO, F. A. N. C.; MARDONES, M. D. M.(2009): *Noise Mapping of Densely Populated Neighborhoods: Example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil*. Environmental Monitoring and Assessment, v. 155, p. 309-318.
- PLANO DE MOBILIDADE URBANA. (2007): *Construindo a Cidade Sustentável. Caderno de Referencia para Elaboração*. M. cidades.
- PORTAL DA TRANSPARÊNCIA - Copa 2014 (2014) *Matriz de Responsabilidades, Brasília-DF, Mobilidade Urbana*. Disponível em <<http://www.portaltransparencia.gov.br/copa2014/arquivos/08 - Brasilia - Aeroporto.pdf>>, [Acesso em 17 abril 2014].

- QUARTIERI, J.; MASTORAKIS, N. E.; IANNONE, G.; GUSRNSCICIA, C.; D'AMBROSIO, S.; TROISI. A Review of Traffic Noise Predictive Models. Revista Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics. Technical University of Sofia. Bulgaria.
- RIBEIRO, R. J. C. (2012): *Projeto Metropolização e Megaeventos: Os Impactos da Copa do Mundo 2014 e das Olimpíadas 2016. Relatório Parcial – Abril de 2012*. Universidade de Brasília – DF.
- RLS (1990). *Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen*. BM für Verkehr, Bonn.
- RODRIGUES, S. G. (2013): *Aplicação da Lógica Paraconsistente na Seleção de Alternativas de Transporte Público*. Dissertação. Universidade de Brasília – UnB. Brasília – DF.
- RODRIGUES S. G.; SANTOS, J.V.; MONTEIRO, S. B. S.; JUNIOR, A. S. (2011): *VLT como Elemento Inovador do Transporte Público Brasileiro*. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2011. Disponível em <http://www.abepro.org.br/internasub.asp?m=984&ss=38&c=1015>. Acesso em 17 agosto 2014.
- SAADU, A. A.; ONYEONWU, R. O.; AYORINDE, E.O.; OGISI, F. O. (1996): *Community Attitudinal Noise Survey and Analysis of Eight Nigerian Cities*. Applied Acoustics. Vol. 49. No. 1. Pp 49-69.
- SANTOS, L. C.; VALADO, F. (2004): *The Municipal Noise Map as Planning Tool*. In: *ACÚSTICA, 2004, Guimarães*. Proceedings. Guimarães: Universidade do Minho.
- SANTOS, L.S; TACO. P.W.G. (2009): *Caracterização dos Potenciais Usuários do Sistema Leve sobre Trilhos de Brasília/DF*. 17º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. 2009. Disponível em <http://www.antp.org.br/website/biblioteca/search.asp>. Acesso em 23 Julho 2014.
- SCHULTZ, T. J. (1978): *Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance*. (2), 377-405.
- SEMAM - Secretaria de Meio Ambiente e Controle Urbano. (2011): *Carta Acústica de Fortaleza* Disponível em: < <http://www.fortaleza.ce.gov.br/semam/> > Acesso em: 12 mar. 2015.
- SILVA, E. F. F. (2015): *Alterações no Clima Acústico nas Vizinhanças de Uma Rodovia Devido a Implantação de um Modal de Transporte*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação de Mestrado em Transporte. Universidade de Brasília – UB. Brasília – DF
- SOBOTOVA, L., JURKOVICOVA, J., STEFANIKOVA, Z. (2010): *Community Response to Environmental Noise and the Impact on Cardiovascular Risk Score*. Science of The Total Environment, 408: 1264 – 1270 p.
- SOUZA, D. F. M. (2014): *Mapeamento Acústico de Tráfego Rodoviário do Bairro Imbuí, Salvador – BA*. XXV Encontro sobrac. Sociedade Brasileira Acústica. Campinas – SP.
- SPECHT, L. P.; KOHLER, R.; POZZOBON, C. E.; CALLAI, S. C. (2009): *Causas, Formas de Medição e Métodos para Mitigação do Ruído Decorrente do Tráfego de Veículos*. Revista Tecnológica de Fortaleza. V.30, nº1, p 12-26. 2009.
- TC-BR/ALTRAN (2004). *Relatório de Avaliação Ambiental Estratégica. Programa Brasília Integrada GDF/BID*. Brasília, DF. Disponível em <<http://www.st.df.gov.br/sites/100/167/00000386>>. Acesso em 13/08/2014.
- THE SCOTTISH GOVERNMENT. (2008) *Scottish Noise Mapping*. Disponível em: <http://www.scottishnoisemappig.org>. Acesso em: 29/08/2015
- UNESCO. *Lista do Patrimônio Mundial no Brasil*. (1987). Disponível em: Acesso em: 10 de agosto. 2014

- VENTURA, A. N; VIVEIROS, E; COELHO, J.L.B; NEVES, M.M. (2008): Uma Contribuição para o Aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: A Gestão do Ruído Ambiental por Mapeamento Sonoro. IN: Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 22., Belo Horizonte. Anais Eletronicos. SOBRAC.
- VERHOEF, E. “External effects and social costs of road transport”, in Transportation Research vol. 28, n.º 4, pp. 273-287. Pergamon, 1994.
- VILELA, J. A. (2007): *Variáveis do Clima Urbano: Análise da Situação Atual e Prognóstico para a Região do Bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG*. Dissertação do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, MG.
- VLT – Metrô Leve de Brasília. (2012). <http://www.vlt.df.gov.br/>, acesso em 28/06/2014.
- WHO – Organização Mundial da Saúde. (2011): *Burden of Disease from Environmental Noise*. Quantification of healthy life years lost in Europe.
- ZANNIN P.H.T., CALIXTO A., DINIZ F. B. D., FERREIRA J. A. C., SCHULLER R. (2002). *Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR*. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.36, n. 4, p. 521-524.
- ZANNIN, P.H. T.; SANT’ANA, D. Q. (2011): *Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – a case study in Brazil*. Applied Acoustics, n. 72, p. 479-486. <http://camaramunicipalsp.qaplaweb.com.br/iah/fulltext/projeto/PL0075-2013.pdf>

APÊNDICE

APÊNDICE A MAPAS DE CONFORMIDADE



Figura B.1: Mapa de Conformidade período diurno – sem o VLT



Figura B.2: Mapa de Conformidade período noturno – sem o VLT

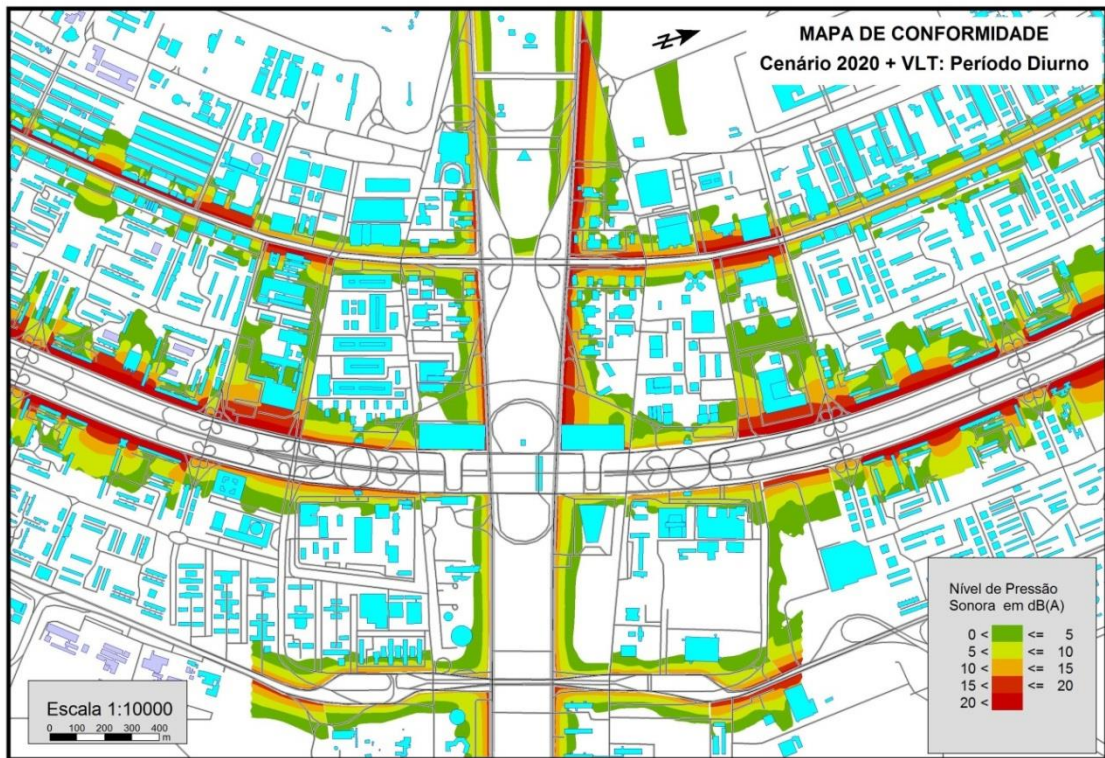


Figura B.3: Mapa de Conformidade período diurno – com o VLT



Figura B.4: Mapa de Conformidade período noturno – com o VLT