

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
NÍVEL MESTRADO**

MARCELO KRUMENAUER

**MAPEAMENTO E ANÁLISE DE RUÍDO AMBIENTAL
ESTUDO DE CASO: CAMPUS UNISINOS**

São Leopoldo

2016

MARCELO KRUMENAUER

MAPEAMENTO E ANÁLISE DE RUÍDO AMBIENTAL
ESTUDO DE CASO: CAMPUS UNISINOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González

São Leopoldo

2016

K94m

Krumenauer, Marcelo

Mapeamento e análise de ruído ambiental estudo de caso:
Campus Unisinos / por Marcelo Krumenauer. – 2016.
175 f.: il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio
dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e
Urbanismo, São Leopoldo, RS, 2016.

“Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González.”

1. Poluição sonora. 2. Ruído ambiental. 3. Mapeamento sonoro.
4. Planejamento urbano. 5. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
I. Título.

CDU: 628.517:72

Catálogo na Publicação:

Bibliotecário Alessandro Dietrich - CRB 10/2338

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Rubem e Mercedes, pelo carinho, atenção e incondicional apoio em minhas decisões.

À minha noiva Elaine, por ser esta companheira tão especial, atenciosa, paciente e compreensível.

Agradeço ao meu orientador, Marco Aurélio, pela sua amizade e seus ensinamentos, pelas agradáveis conversas, e principalmente, pela sua habilidade em me fazer pensar mais.

À professora Maria Fernanda, pelas sugestões, colaborações e principalmente pela sua disposição.

À Guarda Civil Municipal da cidade de São Leopoldo pela disponibilização de importantes dados para a realização desta pesquisa.

Aos amigos Sergio e Henrique, do itt Performance, pela ajuda e parceria durante as medições de campo.

Ao Victor Bécard, da empresa 01 dB Acoem, pela sua colaboração.

Aos amigos e colegas que incentivaram a realização desta pesquisa.

RESUMO

KRUMENAUER, M. **Mapeamento e análise de ruído ambiental – Estudo de caso: Campus UNISINOS**. 2016. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2016.

Os mapas de ruído ou cartas acústicas são amplamente difundidos entre os países da União Europeia e são importantes ferramentas para elaboração de planos de ação e metas para combater a poluição sonora. No Brasil, contudo, poucas são as ações efetivas para a identificação e avaliação das condições de exposição da população ao ruído real. O conhecimento dos níveis reais de ruído permite ao poder público a análise e proposição de medidas e políticas públicas. Nos centros urbanos, cada vez mais a população sofre devido aos efeitos dos elevados níveis de ruídos, principalmente decorrentes do tráfego viário, degradando o meio ambiente e as condições de vida da população. O objetivo do trabalho é desenvolver o mapa de ruído para o Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Para desenvolver este objetivo, foi utilizado o software de previsão acústica CadnaA, aplicando-se os seguintes procedimentos metodológicos: definição da área de estudo; estudo de tráfego da área avaliada (utilizando-se a contagem automática de veículos, através de controladores eletrônicos e cancelas automáticas do Campus); definição de grandezas (meteorológicas, acústicas, tráfego e geométricas); definição de parâmetros de cálculo; modelagem sonora; e validação do ambiente simulado. Para validação do mapa de ruído do Campus, foram avaliados 13 diferentes modelos, com diferentes configurações, comparando-os com os níveis equivalentes de pressão sonora coletados em campo. Os resultados finais indicam um modelo calibrado para a representação do ambiente sonoro do Campus, que com grande diversidade de ambientes de propagação, diferencia-se dos demais ambientes urbanos. Este trabalho justifica-se pelo avanço no reconhecimento e quantificação de níveis de ruídos em áreas externas.

Palavras-chave: poluição sonora, ruído ambiental, mapeamento sonoro, planejamento urbano.

ABSTRACT

KRUMENAUER, M. **Mapping and analysis of environmental noise – Case Study: Campus UNISINOS**. 2016. 175 f. Thesis (Master) – Post-graduate program in Architecture and Urbanism, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2016.

The noise maps or acoustic cards are widely disseminated among of the European Union countries and are important tools for preparing action plans and targets to combat noise pollution. In Brazil, however, there are few effective actions for the identification and evaluation of the conditions of exposure of the population to the real noise. Knowledge of the actual levels of noise allows the government to analyze and propose measures and public policies. In urban centers, increasingly people are suffering from the effects of high noise levels, mainly resulting from road traffic, degrading the environment and living conditions of the population. The objective is to develop a noise map for the Campus of the Universidade do Vale do Rio dos Sinos. To develop this goal, the acoustic prediction software CadnaA was used, applying the following methodological procedures: definition of the study area; the evaluated area traffic study (using the automatic counting of vehicles through electronic controllers and automatic Campus gates); defining quantities (weather, acoustics, traffic and geometric); setting calculation parameters; sound modeling; and validation of the simulated environment. To validate the Campus noise map were evaluated 13 different models, with different settings, comparing them with the equivalent sound pressure level collected in the field. The final results indicate a calibrated model for the representation of the Campus environment sound, which with great diversity of propagation environments, differs from other urban environments. This work is justified by the progress in the recognition and measurement of noise levels outdoors.

Keywords: noise, environmental noise, noise mapping, urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Onda sonora: (a) compressão e rarefações no ar causadas pela onda sonora; (b) representação gráfica das variações de pressão em torno da pressão atmosférica.....	21
Figura 2: Perturbação introduzida ao ar por meio de uma esfera pulsante.....	22
Figura 3: Ondas sonoras no domínio do tempo e no domínio da frequência.....	23
Figura 4: Fenômenos ondulatórios.....	24
Figura 5: Relação entre P e L_p	28
Figura 6: Filtros de ponderação A, B, C e D.....	32
Figura 7: Fonte sonora pontual (esférica).....	34
Figura 8: Fonte sonora linear.....	35
Figura 9: Mecanismos de atenuação sonora ao ar livre.....	36
Figura 10: Efeitos da barreira acústica.....	39
Figura 11: Efeito de diminuição da temperatura com a altura.....	40
Figura 12: Efeito do aumento da temperatura com a altura.....	40
Figura 13: Variação do caminho das ondas acústicas com o efeito do vento.....	42
Figura 14 – Localização da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.....	61
Figura 15 – Principais vias e terminais de acesso ao Campus.....	62
Figura 16 – Uso e ocupação do solo.....	63
Figura 17 – Pontos de medição.....	65
Figura 18 – Medições sonoras realizadas em campo.....	66
Figura 19 – Parâmetros meteorológicos de cálculo inseridos no CadnaA.....	67
Figura 20: Controlador sentido BR 116–Trensurb (a) e sentido Trensurb–BR 116 (b).....	70
Figura 21 – Vegetação densa, lagos e estacionamentos.....	73
Figura 22 – Altura das edificações.....	74
Figura 23 – Período de referência e penalidades inseridas no CadnaA.....	77
Figura 24 – Atenuação devido a propagação através da vegetação.....	79
Figura 25 – Caixa de configuração para rodovias do CadnaA.....	82
Figura 26 – Arquivo de importação completo.....	84
Figura 27 – Modelo digital do terreno, estradas e estacionamentos.....	85
Figura 28 – Modelo 3D da área de estudo.....	86
Figura 29 – Comparativo modelo 1.....	93

Figura 30 – Diferença modelo 1	93
Figura 31 – Comparativo modelo 2	94
Figura 32 – Diferença modelo 2	94
Figura 33 – Comparativo modelo 3	95
Figura 34 – Diferença modelo 3	95
Figura 35 – Mapa modelo 1.....	99
Figura 36 – Mapa modelos 2 e 3.....	100
Figura 37 – Sobreposição modelos 2 e 3 sobre 1	101
Figura 38 – Comparativo modelo 4	103
Figura 39 – Diferenças modelo 4	103
Figura 40 – Comparativo modelo 5	104
Figura 41 – Diferenças modelo 5	104
Figura 42 – Comparativo modelo 6	105
Figura 43 – Diferenças modelo 6	105
Figura 44 – Mapa modelo 4.....	108
Figura 45 – Mapa modelo 5.....	109
Figura 46 – Mapa modelo 6.....	110
Figura 47 – Sobreposição modelo 5 sobre 4.....	111
Figura 48 – Sobreposição modelo 6 sobre 5.....	112
Figura 49 – Comparativo modelo 7	114
Figura 50 – Diferenças modelo 7	114
Figura 51 – Comparativo modelo 8	115
Figura 52 – Diferenças modelo 8	115
Figura 53 – Mapa modelo 6.....	119
Figura 54 – Mapa modelo 7.....	120
Figura 55 – Mapa modelo 8.....	121
Figura 56 – Sobreposição modelo 7 sobre 6.....	122
Figura 57 – Sobreposição modelo 8 sobre 7.....	123
Figura 58 – Comparativo modelo 9	126
Figura 59 – Diferenças modelo 9	126
Figura 60 – Comparativo modelo 10	127
Figura 61 – Diferenças modelo 10	127
Figura 62 – Comparativo modelo 11	128
Figura 63 – Diferenças modelo 11	128

Figura 64 – Mapa modelo 9.....	132
Figura 65 – Mapa modelo 10.....	133
Figura 66 – Mapa modelo 11.....	134
Figura 67 – Sobreposição modelo 10 sobre 9.....	135
Figura 68 – Sobreposição modelo 11 sobre 9.....	136
Figura 69 – Sobreposição modelo 11 sobre 10.....	137
Figura 70 – Comparativo modelo 12	139
Figura 71 – Diferenças modelo 12	139
Figura 72 – Comparativo modelo 13	140
Figura 73 – Diferenças modelo 13	140
Figura 74 – Mapa modelo 9.....	144
Figura 75 – Mapa modelo 12.....	145
Figura 76 – Mapa modelo 13.....	146
Figura 77 – Sobreposição modelo 12 sobre 9.....	147
Figura 78 – Sobreposição modelo 13 sobre 12.....	148
Figura 79 – Mapa sonoro do Campus – mês de novembro de 2015.....	153
Figura 80 – Mapa de ruído – acesso ao Campus.....	154
Figura 81 – Mapa de ruído – vista aérea 1	155
Figura 82 – Mapa de ruído – vista aérea 2.....	156
Figura 83 – Mapa de ruído – vista aérea 3.....	156
Figura 84 – Mapa de ruído – vista aérea 4.....	156
Figura 85- Corte transversal AA	157
Figura 86 - Corte transversal BB	158
Figura 87 –Mapa sonoro do Campus – mês de agosto de 2015.....	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre.....	37
Tabela 2 Valores-guia de ruído ambiente	47
Tabela 3: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos dB(A)	54
Tabela 4: Valores dB(A) e NC	55
Tabela 5 – Fluxo de veículos por mês para o período letivo	64
Tabela 6 – Estatística por porte de veículos (11/11/2015)	71
Tabela 7 – Atenuação de uma banda de oitava de ruído devido a propagação de uma distância d_f através de vegetação densa	79
Tabela 8 – Dados de entrada utilizados no CadnaA	88
Tabela 9 – Resultados das medições em campo.....	91
Tabela 10 – Resumo das diferenças análise 1.....	96
Tabela 11 – Resultados análise 1	96
Tabela 12 – Resumo das diferenças análise 2.....	106
Tabela 13 – Resultados análise 2	106
Tabela 14 – Resumo das diferenças análise 3.....	116
Tabela 15 – Resultados análise 3	116
Tabela 16 – Resumo das diferenças análise 4.....	129
Tabela 17 – Resultados análise 4	129
Tabela 18 – Resumo das diferenças análise 5.....	141
Tabela 19 – Resultados análise 5	142
Tabela 20 – Comparativo das diferenças.....	151
Tabela 21 – Resumo dos resultados das análises	152

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CAD	Computer aided design (Desenho assistido por computador)
CE	Comunidade Europeia
CEE	Comunidade Económica Europeia
CNEL	Community Noise Equivalent Level
CONAMA	Conselho do Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
dB	Decibél
dB(A)	Decibél ponderado em A
EC	European Commission (Comissão Europeia)
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
EPA	United States Environmental Protection Agency (Agência Americana de Proteção Ambiental)
GCM	Guarda Civil Municipal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente
LCCU	Lei Complementar de Controle Urbanístico
L_{den}	Day-Evening_Night Level (Nível de pressão Sonora dia-entardecer-noite)
L_{dn}	Day-Night Level (Nível de pressão sonora dia-noite)
LfU	Landesamt für Umwelt (Agência Europeia do Ambiente)
L_p	Nível de pressão sonora
L_w	Nível de Potência Sonora
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NMPB	Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit (Novo Método de Previsão de Ruído)
RGR	Regulamento Geral de Ruído
RLPS	Regime Legal sobre a Poluição Sonora

RLS	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (Orientações para a proteção contra o ruído nas estradas)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SMTD	Sistema de Monitoramento de Trânsito Digital
TDMA	Tráfego Médio Diário Anual
Tecnosinos	Parque Tecnológico de São Leopoldo
Trensurb	Trens Urbanos de Porto Alegre S.A.
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
USAF	United States Air Force (Força Aérea dos Estados Unidos)
WG-AEN	Working Group Assessment of Exposure to Noise (Grupo de Avaliação de Trabalho da Exposição ao Ruído)
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)
ZEPH	Zona Especial de Preservação do Patrimônio Histórico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	21
2.1.1 O Som	21
2.1.2 Tipos de sons	24
2.1.3 Ruído	25
2.1.4 Tipos de ruídos	26
2.2 INTENSIDADE SONORA E POTÊNCIA SONORA	26
2.3 MEDIÇÃO DO RUÍDO	27
2.3.1 Nível de pressão sonora (L_p)	27
2.3.2 Nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq})	28
2.3.3 Indicadores compostos	29
2.3.3.1 Nível de pressão sonora dia-noite (L_{dn} - <i>Day-Night Level</i>)	29
2.3.3.2 Community Noise Equivalent Level (CNEL)	30
2.3.3.3 Nível de pressão sonora dia-entardecer-noite (L_{den} - <i>Day-Evening-Night Level</i>)	30
2.3.4 Níveis estatísticos	31
2.3.5 Filtros acústicos	31
2.4 CAMPOS SONOROS	32
2.5 FONTES SONORAS	33
2.5.1 Fonte pontual (Esférica)	33
2.5.3 Fonte sonora plana	35
2.6 PROPAGAÇÃO DO SOM EM ESPAÇOS ABERTOS	35
2.6.1 Absorção do ar	37
2.6.2 Efeitos do solo	38
2.6.3 Efeito das barreiras acústicas	38
2.6.4 Efeito da vegetação	39

2.6.5 Efeitos da temperatura.....	40
2.6.6 Umidade relativa.....	41
2.6.7 Efeitos da refração	41
2.6.8 Efeito do vento	41
2.7 RUIDO AMBIENTAL.....	42
2.7.1 Poluição sonora	42
2.7.2 Ruído de tráfego.....	44
2.8 EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO AO SER HUMANO.....	46
2.8.1 Efeitos auditivos.....	48
2.8.2 Efeitos não auditivos	49
2.9 LEGISLAÇÕES E NORMAS PARA RUÍDO AMBIENTAL.....	50
2.9.1 Âmbito internacional.....	50
2.9.2 Âmbito nacional	53
2.9.3 Âmbito municipal	57
2.10 MAPAS DE RUÍDO	58
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	60
3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	60
3.2 DEFINIÇÃO DOS PONTOS, DIAS E HORÁRIOS DE MEDIÇÃO.....	63
3.3 DEFINIÇÃO DAS GRANDEZAS COLETADAS.....	67
3.3.1 Grandezas meteorológicas.....	67
3.3.2 Grandezas acústicas.....	68
3.3.3 Grandezas de tráfego.....	68
3.3.4 Grandezas geométricas	72
3.4 PARÂMETROS DE CÁLCULO	74
3.4.1 Método de cálculo	75
3.4.2 Indicador	77
3.4.3 Absorção do solo	78
3.4.4 Vegetação	78
3.4.5 Absorção de fachadas	80
3.4.6 Malha de cálculo.....	80
3.4.7 Número de reflexões	80
3.4.8 Altura de cálculo	80
3.4.9 Estradas	81
3.4.10 Estacionamentos.....	82

3.5 MODELAGEM DO CAMPUS	83
3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO	86
4. RESULTADOS E ANÁLISES	90
4.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM CAMPO	90
4.2 RESULTADOS E ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES	91
4.2.1 Resultados análise 1	92
4.2.2 Resultados análise 2	102
4.2.3 Resultados análise 3	113
4.2.4 Resultados análise 4	124
4.2.5 Resultados análise 5	138
4.2.6 Resultados gerais das análises	150
4.3 APRESENTAÇÃO FINAL DOS MODELOS	152
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	160
REFERÊNCIAS	164

1 INTRODUÇÃO

Amplamente difundidos entre os países membros da União Europeia, os mapas de ruído ou cartas acústicas são importantes ferramentas para elaboração de planos de ação e metas para combater a poluição sonora. A Diretiva Europeia 2002/49/CE estabeleceu o mapeamento estratégico de ruídos para centros urbanos com população superior a 250 mil habitantes até 30/06/2007 e, até 30/06/2012, para centros urbanos com população superior a 100 mil habitantes.

No Brasil, o Artigo 225 da Constituição Federal diz que: “Todos tem o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem do uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Tratando-se de ruído ambiental, no país, poucas são as ações efetivas para a identificação e avaliação das condições de exposição da população ao ruído real. A identificação e quantificação dos níveis reais de ruído permitem ao poder público uma análise comparativa entre o cenário atual e o cenário ideal. No Brasil, a avaliação de níveis de pressão sonora equivalente para áreas externas é definida pela ABNT NBR 10151:2000 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade - Procedimento, que estipula valores máximos para o período diurno e noturno, de acordo com o tipo de utilização da área.

De acordo com Suriano e Souza (2014), as pesquisas brasileiras referentes ao mapeamento estratégico de ruído encontram-se em um estágio bastante inicial. Diferentemente dos países desenvolvidos, que passaram a instituir seus próprios métodos e modelos, pesquisadores brasileiros vem testando e aplicando tais métodos como forma de caracterizar diferentes cenários acústicos e os efeitos provocados pelo ruído veicular em diferentes centros urbanos.

Nesta esfera, alguns trabalhos foram realizados em cidades de médio e grande porte, como:

Moraes et al. (2003), no município de Belém, realizaram medições de níveis médios de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), nas principais vias da zona comercial, no bairro Campina. A área estudada está inserida na Zona Especial de Preservação do Patrimônio Histórico (ZEPPH), que é formada por ruas estreitas e edificações, em sua maioria, sem recuo frontal e lateral. Com base nos valores coletados, os autores constataram que em toda a zona comercial da cidade, a população está exposta a

níveis de ruídos superiores aos índices máximos preconizados pela NBR 10.151 e pela Lei Complementar de Controle Urbanístico de 1999 – LCCU, da Prefeitura Municipal de Belém. Tais resultados foram obtidos considerando-se todas as fontes sonoras presentes na área: ruído de tráfego, alto-falantes, megafones, carros-som e demais sons de autoria humana. Além disso, destaca-se que a configuração urbana contribui na intensificação da poluição sonora, em função da reflexão sucessiva dos raios sonoros que incidem sobre as fachadas.

Valadares et al. (2007), caracterizaram o ambiente acústico de cidades do estado de Minas Gerais. Para o estudo, foram selecionadas áreas urbanas consideradas críticas nas cidades de Paractú, Sete Lagoas, Muriaé, Leopoldina, Cataguases e Serro. Com a finalidade de incorporar o tema da qualidade da atmosfera acústica na municipalidade, no contexto de planos diretores, realizaram uma avaliação prévia sobre a presença da poluição sonora nos municípios amostrados, através de resultados de cunho preliminar, em função do número reduzido de amostras coletadas. Os autores constataram indicativos de poluição sonora em praticamente todas as áreas analisadas (áreas urbanas com uso residencial, hospitalar, escolar e misto), com exceção de algumas áreas com predominância de uso industrial, nas quais os baixos valores se justificam pelo baixo número de indústrias que operam nestes distritos, não atingindo sua total capacidade.

Nardi (2008), realizou um mapa de ruído para a região central da cidade de Florianópolis, efetuando uma comparação entre os níveis de ruídos existentes com as exigências estabelecidas pelas leis municipais. A autora concluiu que os níveis sonoros calculados se apresentaram consideravelmente altos, havendo apenas algumas exceções dentro da área de estudo com níveis sonoros relativamente baixos.

Em Copacabana, Pinto e Mardones (2009), mapearam acusticamente um dos bairros mais importantes da cidade do Rio de Janeiro. Utilizando um método de medições em campo e predições acústicas através do software CadnaA, os autores também concluíram que grande parte da população de Copacabana está sujeita a altos níveis de ruído, provenientes principalmente do tráfego viário.

Na cidade de Curitiba, Cantieri et al. (2010), realizaram um estudo na área central da cidade. Foram escolhidos 55 pontos de medição em uma área de 329,7 hectares. Em cada ponto foram realizadas 5 medições de níveis de pressão sonora contínua entre as 17h e 19h. Os autores concluíram que os 55 pontos avaliados não atendem os valores estabelecidos por normas e por leis vigentes.

Em Aracaju, Guedes, Bertoli e Zannin (2011), estudaram a influência das formas urbanas sobre o ruído ambiente. O estudo envolveu medições em campo e a utilização de simulações acústicas com o emprego de software (SoundPLAN). A modelagem acústica e as simulações basearem-se em medições de L_{Aeq} , dados de tráfego viário e a geometria da região. Os autores concluíram que a densidade de construção, a existência de espaços abertos, a forma e a posição física das edificações influenciam significativamente nos níveis de ruído ambiente.

Dentre todos os trabalhos de mapeamento e caracterização dos diferentes cenários acústicos presentes em todo o território nacional, somente em 2012, na cidade de Fortaleza, a primeira carta acústica do país foi disponibilizada para consulta da população. Fortaleza foi a primeira cidade brasileira integralmente mapeada.

Caracterizar acusticamente uma cidade através de medições é uma tarefa complexa, trabalhosa e onerosa. Como alternativa, os mapas de ruído ambiental que se utilizam de técnicas do tipo SIG (Sistema de Informação Geográfica) tornam-se uma eficiente alternativa para avaliar o ruído ambiente, de forma precisa e, com a possibilidade de simular diferentes cenários para uma mesma região (ASENSIO et al., 2011; CAI et al., 2015).

Tão importante quanto a identificação das fontes geradoras de ruídos, o estudo e o monitoramento das mesmas se tornam uma importante ferramenta, possibilitando avaliar o seu impacto sobre diferentes ambientes, concebendo medidas mais eficientes e de menor impacto ambiental para minimizá-las (KLUIJVER; STOTER, 2003).

Na elaboração de mapas de ruído, a situação existente ou prevista de ruído ambiente pode ser descrita por uma compilação de dados, caracterizada por um indicador de ruído, através do qual é possível identificar a superação de valores limites estabelecidos, a identificação e quantificação de pessoas afetadas em uma determinada zona e, o número de habitações expostas a um determinado nível de ruído, em determinada zona (EU, 2002).

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (2011), os mapas de ruídos podem ser utilizados como importante ferramenta de apoio na preparação de instrumentos de planejamento e ordenação urbana. Como instrumento de gestão urbana, os mapas são utilizados para caracterizar espaços, por requisito de qualidade acústica e, em âmbito municipal, podem ser compatibilizados e harmonizados com os planos municipais de ordenamento do território, para a adoção de medidas de

preservação, correção e criação de zonas sensíveis, com níveis regulamentares (APA, 2010).

Em Portugal, todos os municípios são obrigados a incluírem em seus Planos Diretores Municipais, mapas de ruídos e cartas de classificação de zonas sensíveis e mistas, em escala urbana e também em aglomerados rurais, segundo o Regulamento Geral de Ruído aprovado pelo Decreto-Lei nº 9/2007 (APA, 2010).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é investigar e mapear os níveis de pressão sonora provenientes do tráfego rodoviário no Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos propostos são:

- a) Investigar as alterações de parâmetros de cálculo no programa CadnaA e seus diferentes resultados de saída;
- b) Validar um modelo representativo à diversidade de ambientes presentes no Campus;
- c) Elaborar mapas acústicos para os cenários de tráfego dos meses de Agosto e Novembro de 2015.

1.2 JUSTIFICATIVA

No Brasil, desde 2013, quando a ABNT NBR 15.575 Edificações Habitacionais – Desempenho, entrou em vigor, condições mínimas de desempenho acústico para unidades habitacionais foram estabelecidas, visando atender as exigências dos usuários.

A norma brasileira regulamentadora estipula critérios para classificação acústica de ruídos provenientes de impactos em lajes de entrespisos e isolamento sonora ao som aéreo em fachadas e coberturas. A mesma norma considera ainda, a necessidade de tratamento acústico em paredes de geminação, que separam

unidades autônomas e nas paredes divisórias entre áreas de uso privativo e áreas de uso comum em edificações multifamiliares. No entanto, a NBR 15.575 não fixa critérios de conforto acústico e nem a forma de quantificar os níveis de ruídos externos à edificação (CBIC, 2013).

Como visto na introdução, a NBR 10.151 fixa condições para avaliação e reconhecimento do ruído em áreas externas. Aliado à norma, o mapeamento sonoro de centros urbanos pode ser utilizado como importante ferramenta de planejamento urbano, estudos de impacto ambiental, identificação e quantificação da população exposta a elevados níveis de ruídos, assim como permitir uma precisa especificação de sistemas construtivos para os níveis de ruído em que as edificações estarão inseridas.

Neste contexto, o presente trabalho justifica-se no reconhecimento e quantificação de níveis de ruídos presentes no Campus, que tal como em centros urbanos, possui intenso tráfego viário, tanto nas vias de acesso como nas vias internas do mesmo, consequência do somatório das diversas atividades que a universidade acolhe. Independente do cenário, cada vez mais a população sofre devido aos efeitos dos elevados níveis de ruídos, degradando o meio ambiente e as condições de vida da população.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se desenvolve em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, fez-se a introdução ao tema, principalmente, frente ao cenário brasileiro, apresentando-se os objetivos gerais e específicos e a justificativa.

No segundo capítulo, há a revisão bibliográfica, abordando conceitos fundamentais de acústica, forma de medição do ruído, o comportamento de propagação do som em espaços abertos, bem como os efeitos a saúde e as normas e legislações pertinentes ao ruído ambiental.

No terceiro capítulo, detalhou-se o programa experimental, com definição da área a ser estudada, o reconhecimento do ambiente sonoro do Campus, a coleta de grandezas pertinentes à modelagem do Campus, a modelagem do Campus, e a forma de validação dos modelos gerados.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados dos níveis de pressão sonora presentes no Campus e os resultados calculados. Através de análises, os

resultados são debatidos, descrevendo-se o comportamento dos mapas gerados frente a realidade sonora presente no Campus da Universidade.

No quinto capítulo, é apresentada uma conclusão geral do estudo realizado.

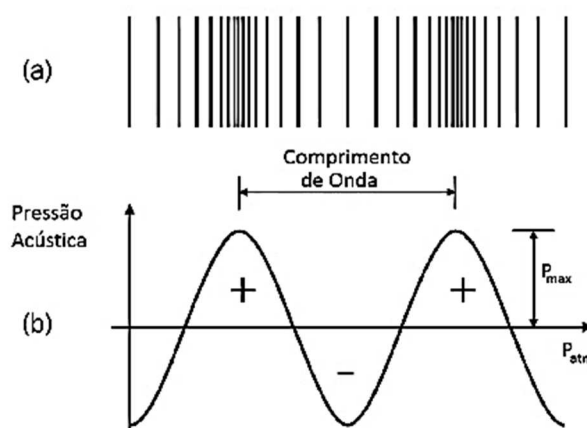
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1.1 O Som

O som pode ser definido como o resultado da variação ou flutuação da pressão em um meio elástico (por exemplo, sólido, água, ar), causado por um corpo vibrante, ou por um fluxo turbulento em um fluido. A propagação do som ocorre através de ondas, no ar, em movimentos ondulatórios com ciclos de compressão e rarefações em torno da pressão atmosférica nas frequências compreendidas entre 20 Hz e 20 kHz (HANSEN, 2001; NBR 16313:2014) (Figura 1).

Figura 1 - Onda sonora: (a) compressão e rarefações no ar causadas pela onda sonora; (b) representação gráfica das variações de pressão em torno da pressão atmosférica.

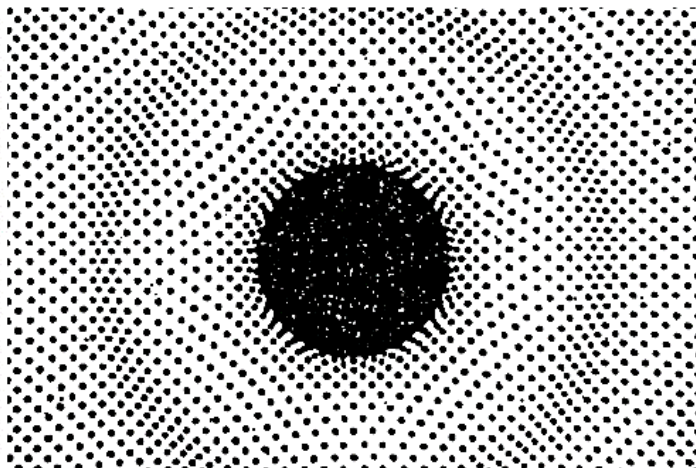


Fonte: Hansen (2001)

As ondas são rotuladas segundo o número de direções pela qual se propagam. Unidimensionais, se propagam em uma só direção; Bidimensionais, se propagam em um plano; e tridimensionais, se propagam em todas as direções. As ondas sonoras se enquadram nas ondas tridimensionais. (HALLIDAY et al., 2003).

As ondas sonoras são perturbações oscilatórias de compressão que se propagam em um determinado meio elástico. No ar, por exemplo, esta perturbação envolve as moléculas do meio, movendo-as para frente e para trás na direção de propagação, acompanhadas por alterações de pressão, densidade e temperatura (JACOBSEN et al., 2011) (Figura 2).

Figura 2 - Perturbação introduzida ao ar por meio de uma esfera pulsante



Fonte: Jacobsen (2011)

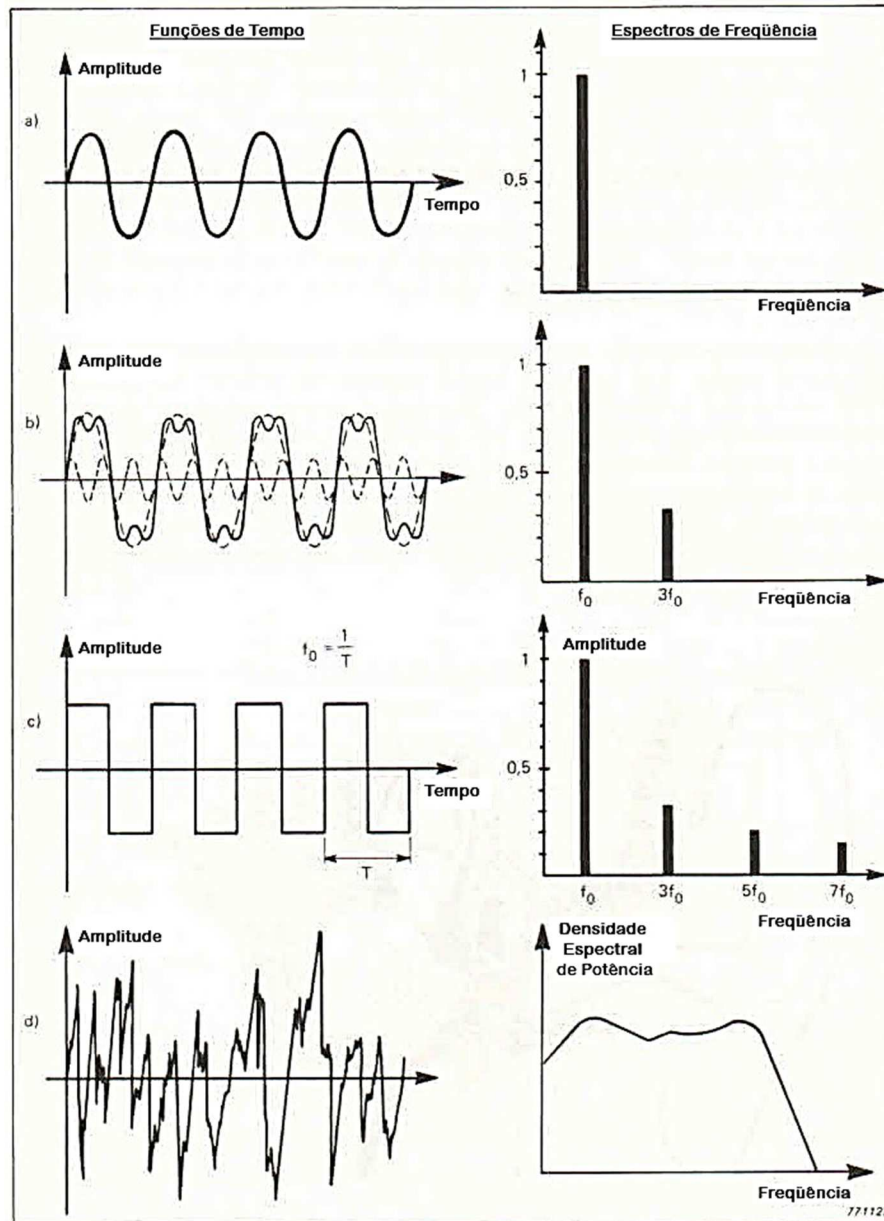
A velocidade de propagação do som difere de acordo com o meio elástico. No ar, a 20°C e ao nível do mar, a velocidade de propagação do som é de aproximadamente 344 m/seg. e, é diretamente proporcional à umidade e à temperatura. A velocidade de propagação está inteiramente relacionada com a densidade do meio, ou seja, quanto mais denso for o meio, maior será a velocidade de propagação (CARVALHO, 2006).

Segundo Bistafa (2011), os sons manifestam-se na forma de tons puros (sons formados por uma única frequência) e ruídos, formados por uma série de frequências. Normalmente, grande parte dos sons não são formados por tons puros.

Sons puros e ruídos podem ser analisados espectralmente por meio da aplicação da transformada de Fourier. Fourier desenvolveu um método matemático de representação das ondas sonoras no domínio da frequência, ao invés do domínio do tempo (BISTAFA, 2011).

A Figura 3 mostra a análise de ondas sonoras no domínio do tempo e no domínio da frequência.

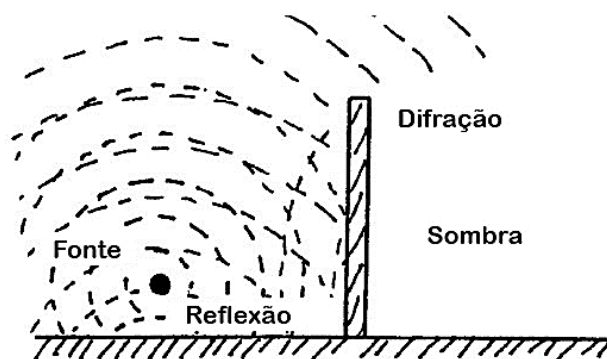
Figura 3 - Ondas sonoras no domínio do tempo e no domínio da frequência



Fonte: Adaptado de Brüel e Kjaer (1979)

Quando em contato com uma superfície, parte da onda sonora é refletida, mudando sua direção de propagação e parte da onda é relativamente absorvida, dependendo da rigidez da superfície. A superfície, além de provocar difração na onda, também gera uma sobra acústica (JACOBSEN, 2011) (Figura 4).

Figura 4 - Fenômenos ondulatórios



Fonte: Adaptado de Jacobsen (2011)

Para Silva (2005) o som pode ser descrito com dois importantes conceitos, sendo: o som que percorre um meio qualquer de propagação, gerado por vibração ou perturbação física e, o som captado pelo ouvido humano, sensação sonora e psicofisiológica.

O som, para Shafer (2001) e Kuttruff (2007) está presente tanto em áreas urbanas, densamente habitadas, quanto em áreas rurais. Diferentes tipos de sons são produzidos, sendo de autoria humana, proposital ou involuntária.

2.1.2 Tipos de sons

De acordo com a norma brasileira de terminologia acústica ABNT NBR 16313:2014 Acústica – Terminologia, os sons podem ser definidos em:

- Som aéreo: som que é transmitido pelo ar;
- Som total: som presente em uma determinada situação e instante, decorrente da contribuição de todas as fontes sonoras;
- Som específico: parcela do som que pode ser identificada e que se associa a uma determinada fonte, podendo ser produzido por um empreendimento, equipamento ou qualquer fonte específica;
- Som residual: som restante do som total em determinada posição e situação quando suprimidos os sons específicos em consideração;
- Som intrusivo: intervenção alheia ao objeto de medição;
- Som impulsivo: som caracterizado por impulsos de pressão sonora de duração inferior a 1 s, como tiros, estouros, impactos e outras fontes;
- Som de impacto: som decorrente do impacto entre materiais;

- Som intermitente: som que ocorre somente em certos intervalos de tempo, frequentes ou não, em que a duração de cada um é superior a 1 s;
- Som contínuo: som existente durante todo o período de investigação, que não é um som intermitente nem um som impulsivo;
- Som flutuante: som constante cujo nível de pressão sonora, durante o período de investigação, varia consideravelmente;
- Som tonal: som qualificado por uma única componente de frequência ou por componentes de banda estreita, sobressaindo-se em relação às demais componentes.

2.1.3 Ruído

Do ponto de vista físico, som e ruído apresentam os mesmos fenômenos de flutuação em torno da pressão atmosférica. O ruído é caracterizado como som indesejado ou desagradável, mas o que é som para uma pessoa, pode muito bem ser interpretado como ruído para outra (HANSEN, 2001).

Fisicamente, não existe distinção entre som e ruído. O som é uma percepção sensorial evocada por processos auditivos no cérebro. O padrão complexo das ondas sonoras é classificado subjetivamente, ou seja, as ondas sonoras podem ser subjetivamente rotuladas como ruído, música, discurso, etc. Conseqüentemente, não é possível definir o ruído exclusivamente nos parâmetros físicos de som. Em vez disso, é comum definir simplesmente o ruído como som indesejável (WHO, 1999).

Rocha e Carvalho (2008) afirmam, também subjetivamente, que ruído é todo estímulo desinteressante ou sem significado auditivo.

O ruído pode ainda ser qualificado pela presença concomitante de diversas amplitudes e frequências de modo não concordante. Todavia, cada indivíduo irá reagir conforme sua situação emocional e de sua personalidade (CALIXTO, 2002).

Mota (2012) define ruído como todo o som que intervém no que se deseja escutar. No entanto, por ser uma avaliação muito subjetiva, Davis e Cornwell (2012) e Mota (2012) afirmam que a poluição sonora é menos discutida em comparação às demais variedades.

2.1.4 Tipos de ruídos

De acordo com a NBR 16313, os diferentes tipos de ruídos provenientes de diferentes atividades, pode ser designado em:

- Ruído de fonte específica: som presente em determinada situação, proveniente de uma fonte sonora específica objeto de análise;
- Ruído industrial: som presente em determinada situação, resultante de atividades industriais;
- Ruído aeroviário: som presente em determinada situação, resultante do tráfego de aeronaves em operações de pouso, decolagem ou no espaço aéreo;
- Ruído aquaviário: som presente em determinada situação, resultante do tráfego de embarcações;
- Ruído ferroviário: som presente em determinada situação, resultante do tráfego de composição ferroviária;
- Ruído metroviário: som presente em determinada situação, resultante do tráfego em sistemas de transporte urbano de passageiros sobre trilhos;
- Ruído rodoviário: som presente em determinada situação, resultante do tráfego de veículos em rodovias;
- Ruído de tráfego urbano: som presente em determinada situação, resultante do tráfego de veículos em vias públicas urbanas.

2.2 INTENSIDADE SONORA E POTÊNCIA SONORA

A intensidade sonora (I) é definida como a energia que atravessa, na unidade de tempo, uma área unitária, ou seja, uma seção de área perpendicular à direção de propagação da onda. Como energia por unidade de tempo é potência (watts) logo, a intensidade sonora será dada pela unidade de (W/m^2) , (BISTAFA, 2011) (Equação 1).

$$I_r = \frac{P_{eficaz(r)}^2}{\rho c} \quad (1)$$

Onde:

- $P_{eficaz(r)}$ é o valor eficaz da pressão sonora à distância r da esfera pulsante;
- ρc é a impedância característica do meio de propagação. Para o ar à temperatura ambiente, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ e $c = 340 \text{ m/s}$.

Para uma esfera pulsante, a potência sonora (W) é obtida através da multiplicação da intensidade sonora, à distância r da esfera pulsante, pela área da superfície esférica que envolve a esfera pulsante nessa distância (BISTAFA, 2011) (Equação 2).

$$W = I_r \cdot 4\pi r^2 \text{ (em watts)} \quad (2)$$

2.3 MEDIÇÃO DO RUÍDO

Para mensurar os níveis de ruído e avaliar a grandeza do desconforto causado por ele, é de grande valia que sejam adotados alguns indicadores/descriptores de ruído ambiente (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

2.3.1 Nível de pressão sonora (L_p)

O nível de pressão sonora descreve em decibel, desde o menor nível de pressão sonora detectado pelo sistema auditivo humano, cerca de $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$, até o maior nível de pressão sonora admissível ou limiar da dor, cerca de 60 Pa . Esta extensa gama de energia sonora é descrita de forma simplificada através da equação do Nível de Pressão Sonora L_p , (HARRIS, 1998; GOELZER et al., 2001; ROCHA; CARVALHO, 2008). De acordo com a ISO 1996/1 (2003), o nível de pressão sonora é definido pela Equação 3.

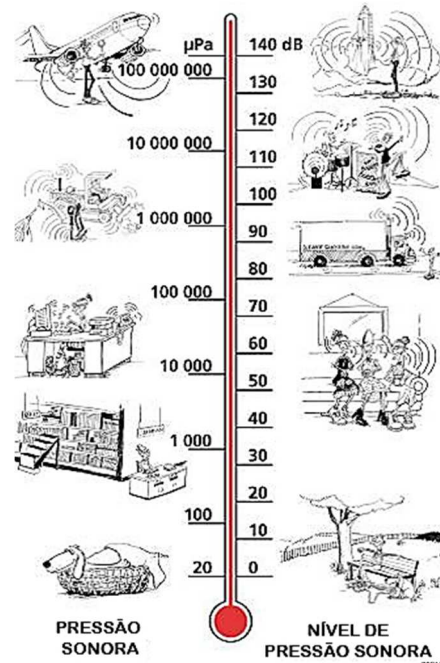
$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (dB) \quad (3)$$

Onde:

- P é a pressão sonora (N/m^2);
- P_0 é a pressão sonora de referência $2 \times 10^{-5} \text{ (N/m}^2)$, que corresponde ao limiar da audição na frequência de 1 KHz .

A Figura 5 ilustra a relação entre estas duas unidades de medida (P e L_p), representando também as grandezas de alguns ruídos do cotidiano.

Figura 5 - Relação entre P e L_p



Fonte: Adaptado de Brüel & Kjael (2000)

2.3.2 Nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq})

Inicialmente implantado pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), no começo dos anos 50, com a finalidade de mensurar os efeitos do ruído de tráfego aéreo, o Nível de pressão sonora equivalente foi integrado ao Guia de Planejamento da USAF em 1957. Em meados dos anos 60, na Europa, foi a Alemanha Ocidental que empregou tal indicador, com a mesma finalidade, nas imediações dos aeroportos. Posteriormente à Alemanha Ocidental, ainda na mesma década, Suécia e Áustria verificaram sua aplicação na avaliação dos efeitos de ruído emitidos por diferentes fontes, tais como tráfego rodoviário, ferroviário, atividades industriais e urbanas (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

De acordo com a NBR 10.151:2000, o nível de pressão sonora equivalente em decibel ponderado em (A), é obtido a partir do valor médio quadrático de pressão sonora durante o intervalo de medição, de acordo com a Equação 4.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad [dB(A)] \quad (4)$$

Onde:

- L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;
- N é o número total de leituras.

O nível de pressão sonora equivalente contínuo, com filtro de ponderação (A) descreve o nível de um som contínuo, que em um determinado intervalo de tempo tem a mesma energia sonora do som em investigação, variando com o tempo (ISO 1996/1, 2003).

Segundo Gerges (2000), na avaliação de potenciais danos ao sistema auditivo e a saúde humana, não basta somente saber o nível de um dado ruído, mas também o tempo de exposição ao mesmo.

2.3.3 Indicadores compostos

Com a finalidade de avaliar de forma ampliada os efeitos do ruído durante as 24 horas de um dia, estabeleceu-se indicadores compostos, que são originários dos indicadores base, como é o exemplo do indicador L_{Aeq} , aplicando a estes, penalidades diversificadas de acordo com os períodos do dia (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

2.3.3.1 Nível de pressão sonora dia-noite (L_{dn} - *Day-Night Level*)

Indicador de ruído ambiente que avalia as 24 horas do dia, com uma penalidade de 10 dB, para o período noturno, que compreende 9 horas, entre as 22h e 7h. Comumente utilizado nos Estados Unidos, esta penalização de 10 dB reproduz o maior desconforto, percebido pelo ser humano neste período, acometendo a qualidade do sono (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009) (Equação 5).

$$L_{dn} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{15} 10^{\frac{L_{day}}{10}} + \sum_{i=1}^9 10^{\frac{(L_{night}+10)}{10}} \right] \quad (5)$$

2.3.3.2 Community Noise Equivalent Level (CNEL)

Da mesma forma que o L_{dn} , o CNEL, que foi aplicado no estado da Califórnia no desfecho da década de 60, considera as 24 horas do dia. No entanto, é acrescido um período de 3 horas para o entardecer ($L_{evening}$), com uma penalidade de 5 dB (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

O indicador de ruído CNEL, consoante com Bento Coelho e Ferreira (2009), baseia-se nos valores do L_{Aeq} fracionando-se em:

- L_{day} , que compreende as 12 horas entre as 7h e 19h;
- $L_{evening}$, que compreende as 3 horas entre as 19h e 22h, com penalização de 5 dB;
- L_{night} , que compreende as 9 horas entre as 22h e 7h, com penalização de 10 dB (Equação 6).

$$CNEL = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{24} \left[\sum_{i=1}^{12} 10^{\frac{L_{day}}{10}} + \sum_{i=1}^3 10^{\frac{(L_{evening}+5)}{10}} + \sum_{i=1}^9 10^{\frac{(L_{night}+10)}{10}} \right] \quad (6)$$

Esta fragmentação dos períodos e suas respectivas penalidades são aplicadas em função da oscilação dos níveis de ruído no decorrer das 24 horas de um dia, contando que, nos períodos do entardecer e noturno, as pessoas estão mais suscetíveis ao ruído, uma vez que, geralmente, o lazer e descanso ocorrem nestes períodos do dia (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

2.3.3.3 Nível de pressão sonora dia-entardecer-noite (L_{den} - Day-Evening-Night Level)

Com a finalidade de classificar, evitar ou conter os níveis de desconforto percebidos pelos indivíduos residentes nos Estados membros da União Europeia, em consequência do ruído oriundo de atividades industriais e de tráfego aéreo e rodoviário, em 2002, foi aprovada, pelo Parlamento Europeu, a Diretiva 2002/49/CE (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009). Dentre as ações expostas, apresentou-se o indicador L_{den} , que tal como o CNEL, é associado ao desconforto global, e composto por três distintos períodos (diurno, entardecer e noturno), sendo o noturno (L_{night}) indicado concomitantemente ao descritor L_{dn} , quando aplicado na produção de mapas de ruído (DIRETIVA 2002/49/CE, 2002; BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

Semelhante ao indicador CNEL, o indicador de ruído, segundo a Diretiva 2002/49/EC, é constituído pela média energética nas 24 horas do dia, dividindo-se o período dia (L_{day}), em 12 horas, o entardecer ($L_{evening}$), em 4 horas, com penalidade de 5 dB e o noturno (L_{night}) em 8 horas, com penalidade de 10 dB, ficando os Estados-Membros autorizados a reduzirem em uma hora o período vespertino, ajustando-a em um dos demais períodos (DIRETIVA 2002/49/CE, 2002; BENTO COELHO; FERREIRA, 2009) (Equação 7).

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (7)$$

2.3.4 Níveis estatísticos

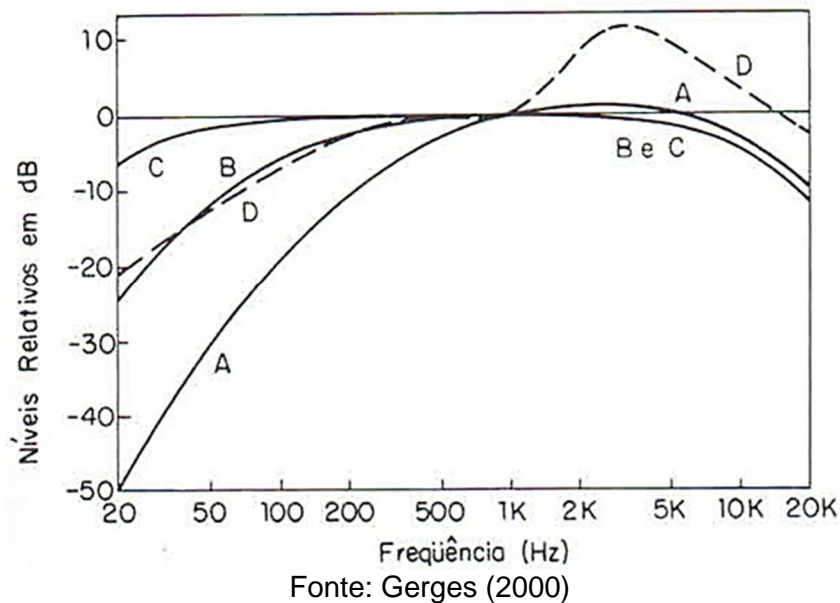
De acordo com Bistafa (2011), os níveis estatísticos L10, L50 e L90 descrevem a porcentagem de tempo que um determinado nível de pressão sonora foi excedido durante o período de medição. O nível estatístico L10, representa os níveis de ruído de pico que foram excedidos em 10% do tempo de medição. O nível L50 representa os níveis de ruído mediano, excedido em 50% do tempo de medição. O nível L90 representa o ruído residual, excedido em 90% do período de medição.

2.3.5 Filtros acústicos

O sistema auditivo humano é capaz de diferenciar sons em uma grande faixa de frequências. No entanto, a sensibilidade auditiva para uma mesma intensidade sonora não é constante. Em bandas de frequências muito altas ou muito baixas, os sons são escutados com menor intensidade que as bandas de médias frequências. (GERGES, 2000; MURGEL, 2007; ROCHA; CARVALHO, 2008).

Para corrigir esta diferença de percepção, foram desenvolvidos filtros de ponderação A, B, C e D, os quais modificam o espectro sonoro adequando-o de acordo com as respostas do sistema auditivo às diferentes frequências contidas no som (Figura 6) (BISTAFA, 2011).

Figura 6 - Filtros de ponderação A, B, C e D



De acordo com Gerges (2000) e Brüel & Kjaer (2000), a curva de ponderação (A) é a mais utilizada em analisadores sonoros, pois apresenta boas correlações em testes subjetivos. A curva de ponderação (D) é padronizada para medições de ruídos em aeroportos.

2.4 CAMPOS SONOROS

Um campo sonoro pode ser descrito como o meio em que o som é transmitido. No campo sonoro ocorrem perturbações que produzem a sensação de som a partir da fonte até o ouvido humano. Os campos sonoros podem ser definidos como (HANSEN, 2001):

- Campo livre: Região livre de qualquer forma de obstrução, o campo livre é um espaço onde o som se propaga livremente;
- Campo próximo: Considerado como a região imediatamente adjacente a fonte geradora, no campo próximo a pressão do som e a velocidade das partículas estão defasadas. Em relação à fonte, o campo próximo limita-se a maior distância, seja o comprimento da onda ou a três vezes a maior dimensão da fonte;
- Campo distante: O campo distante inicia ao término do campo próximo e estende-se até o infinito. Na transição do campo próximo para o campo distante ocorre a passagem gradual das características de um campo para

outro. Na maioria dos casos, ao dobrar-se a distância em relação à fonte, há um decréscimo de 6 dB no nível de pressão sonora;

- Campo direto: Região do campo sonoro onde as irradiações da fonte sonora não sofrem interferência, ou seja, no campo direto não há reflexões de quaisquer superfícies;
- Campo reverberante: É a região do campo sonoro onde as irradiações da fonte sofrem, pelo menos, uma reflexão por uma superfície em um ambiente fechado.

2.5 FONTES SONORAS

As fontes sonoras são caracterizadas acusticamente pela sua potência sonora, ou seja, a capacidade de transformar algum tipo de energia em energia sonora (BISTAFA, 2011). As fontes sonoras podem ser qualificadas em fontes pontuais, fontes lineares e planas.

2.5.1 Fonte pontual (Esférica)

Considera-se Fonte Pontual toda fonte sonora que, devido à distância, aparenta ao receptor apenas como um ponto (BRÜEL & KJAER, 2000; ROCHA; CARVALHO, 2008). Em fontes pontuais esféricas a irradiação de energia sonora para as moléculas de ar ocorre segundo uma propagação radial, por ondas esféricas (Figura 7). Neste tipo de fonte, a pressão sonora apresenta a mesma fase em superfícies esféricas, com o centro na fonte sonora. Como a propagação sonora é esférica (área da esfera é igual ao quadrado do raio), a queda de pressão sonora, à medida que se dobra a distância (raio) entre fonte e receptor, é de 6 dB, de acordo com a Equação 8 (BRÜEL & KJAER, 2000; ROCHA; CARVALHO, 2008; BISTAFA, 2011).

Figura 7 - Fonte sonora pontual (esférica)



Fonte: Brüel e Kjaer (2000)

$$L_p = L_w - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB} \quad (8)$$

Onde:

- L_p : nível de pressão sonora;
- L_w : nível de potência sonora;
- r : distância da fonte em metros.

Quando fontes com estas características são encontradas adjacentes ao solo, sua propagação ocorre a partir de uma semiesfera, possuindo as mesmas características da fonte pontual esférica em relação à queda do nível de pressão sonora (BRÜEL & KJAER, 2000; ROCHA; CARVALHO, 2008).

2.5.2 Fonte linear (Cilíndrica)

Conceitua-se fonte linear todo o som proveniente do somatório de variadas fontes pontuais emitindo ruído concomitantemente, de forma a se assimilar a uma linha (BRÜEL & KJAER, 2000; ROCHA; CARVALHO, 2008).

Numa fonte linear ou cilíndrica, a irradiação ocorre através de ondas cilíndricas, como em vias de tráfego veicular (Figura 8). Diferentemente da fonte pontual, à medida que a distância da fonte dobra há um decréscimo de pressão sonora em 3 dB, de acordo com a Equação 9 (BRÜEL & KJAER, 2000; BIES; HANSEN, 2003; ROCHA; CARVALHO, 2008; BISTAFÁ, 2011).

Figura 8 - Fonte sonora linear



Fonte: Brüel e Kjaer (2000)

$$L_p = L_w - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{dB} \quad (9)$$

Onde:

- L_p : nível de pressão sonora;
- L_w : nível de potência sonora;
- r : distância da fonte em metros.

2.5.3 Fonte sonora plana

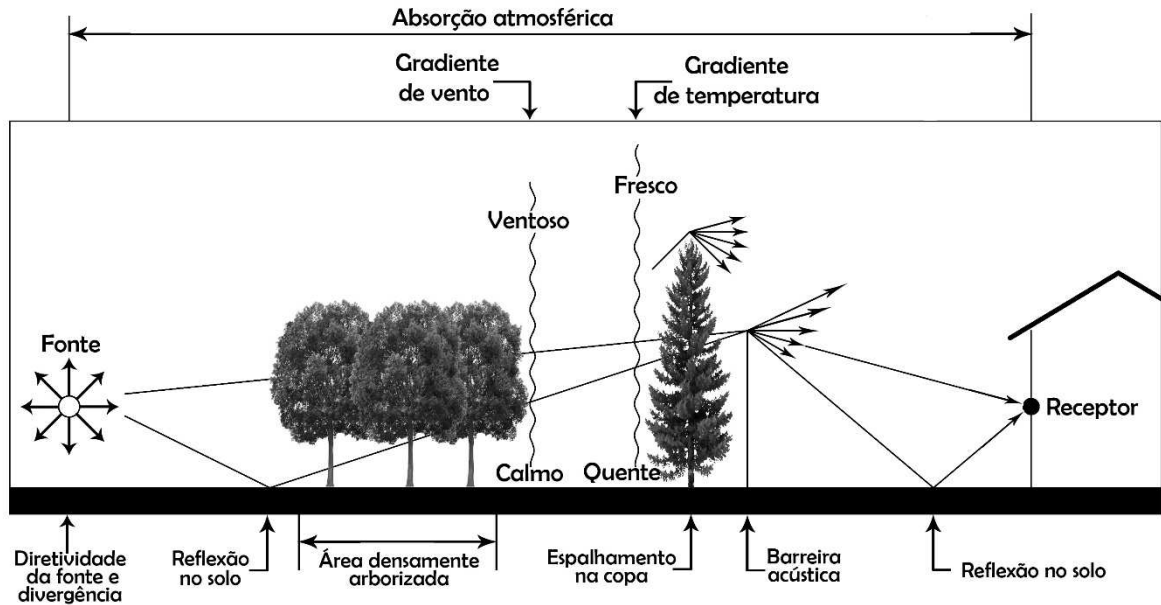
Menos usual, a fonte sonora plana ocorre em situações bastante peculiares (por exemplo, no interior de um duto com diâmetro bem menor que o comprimento da onda). Neste tipo de fonte, independente da distância, o nível de pressão sonora é constante em qualquer instante de tempo (BISTAFA, 2011).

2.6 PROPAGAÇÃO DO SOM EM ESPAÇOS ABERTOS

Indiferente da potência e da fonte sonora, durante sua trajetória até o receptor, a energia gerada sofre atenuações propagando-se em um meio livre. Além da atenuação do som devido à distância percorrida, existem outros fenômenos que interferem em seu movimento, como exemplo: absorção sonora do ar atmosférico, reflexões, efeitos da vegetação, barreiras naturais e artificiais, efeitos da temperatura, umidade e efeitos do vento (GERGES, 2000; MURGEL, 2007; BISTFA, 2011).

A Figura 9 ilustra os diferentes e mais significativos mecanismos de atenuação sonora ao ar livre, a partir da fonte geradora até o receptor.

Figura 9 - Mecanismos de atenuação sonora ao ar livre



Fonte: Adaptado de Bistafa (2011)

A Tabela 1 resume os principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre e indica sob que condições cada um deles é mais significativo.

Tabela 1 - Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre

Mecanismo	Descrição sucinta	Atenuação aproximadamente de 5dB	
		Condições	À distância de
Absorção do Ar	Absorção sonora do ar atmosférico.	A 10 °C e 70% de umidade relativa	800 m
			1.500 m em 500 Hz 250 m em 4kHz
Solo Macio	Interferência (quase sempre destrutiva) entre o som direto e o refletido sobre solo acusticamente "macio".	Para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2 m.	85 m
			10 m - 250 e 500 HZ
Edificações	Atenuação provocada por edificações entre a fonte e o receptor.	Com uma fileira de edificações com aproximadamente 25% de aberturas.	Todas
Vegetação densa	Atenuação provocada por vegetação densa entre fonte e receptor.	Áreas com muitas árvores e vegetação densa no solo.	30 m
			100 m - 500 Hz 50 m - 4.000 Hz
'Reverberação Urbana	Amplificação sonora devida a múltiplas reflexões em desfiladeiros urbanos.	Com edificações de no mínimo 10 m de altura em ambos os lados da rua.	Todas
Vento e temperatura	Alteração da atenuação do solo e/ou barreira, criação de sombras acústicas causadas por gradientes verticais de temperatura e ventos.	Em dias ensolarados, para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2 m.	150 m
			150 m - 500 Hz 50 m - 4.000 Hz

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011)

Omitem-se atenuações causadas por neblina, precipitações e turbulência atmosférica, por não serem geralmente significativas;

Omitem-se os efeitos da divergência da onda, da diretividade e de grandes superfícies refletoras próximas a fonte;

2.6.1 Absorção do ar

O ar, apesar de ser o principal meio de propagação das ondas sonoras não é perfeitamente elástico. Durante os sucessivos ciclos de oscilações de pressão sonora ocorrem processos irreversíveis de perda de energia durante a transmissão aérea (GERGES, 2000; MURGEL, 2007).

Segundo Bistafa (2011), a atenuação provocada pela absorção do ar atmosférico se deve a dois processos: o macroscópico e o microscópico. No processo

macroscópico, também conhecido como processo clássico, a energia sonora é extraída da onda devido à combinação dos efeitos de viscosidade e de condução de calor durante um ciclo de pressão (GERGES, 2000). No processo microscópico, a absorção se deve a relaxação térmica molecular. No ar atmosférico, a absorção ocorre pela dissipação de energia provocada pelas moléculas de água presentes no ar, as quais atuam como inibidores das colisões moleculares do meio (GERGES, 2000; BISTAFA, 2011). Contudo, a absorção atmosférica não contribui na atenuação de baixas frequências (BRÜEL & KJAER, 2000).

2.6.2 Efeitos do solo

Segundo Bistafa (2011), os efeitos de reflexão provocados pelo solo podem resultar em atenuação ou amplificação do som. A partir do contato com o solo, a onda que se propaga de forma direta ao receptor, passa a sofrer interferência do raio gerado pela reflexão do solo. Essa interferência entre as ondas é função da frequência do som, podendo gerar reduções de 20-30 dB e amplificações de até 6 dB. A interferência destrutiva ocorre quando a reflexão gerada pelo solo se propaga em sentido oposto à direção de propagação da onda direta. Já os efeitos construtivos ocorrem quando a reflexão gerada duplica a pressão sonora em frequências para as quais as ondas propagam-se na mesma direção.

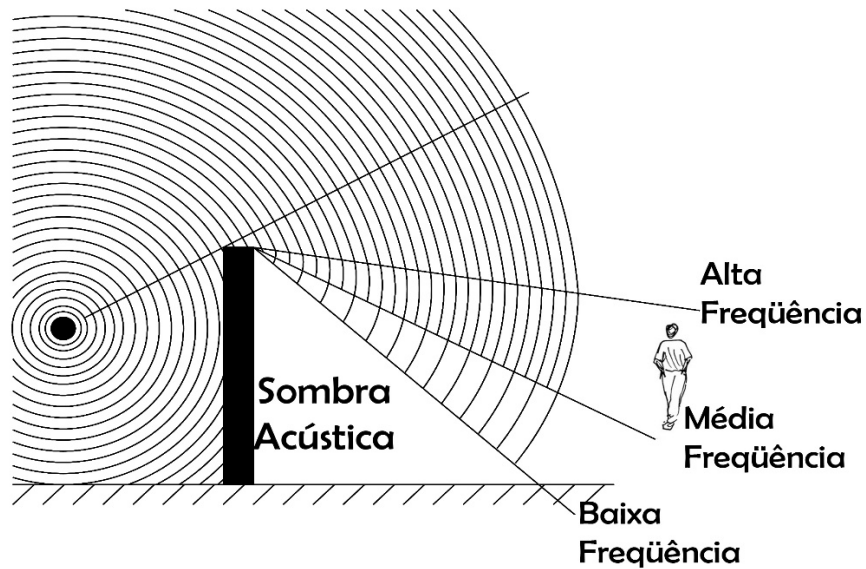
A redução ou aumento do ruído também ocorre em função das propriedades do solo. Observa-se maior absorção em solos cultivados ou com vegetação gramínea, em oposição a solos refletivos, que são encontrados em grande parte das zonas urbanas, como pavimentação das vias e dos passeios. (BRÜEL & KJAER, 2000; JESUS, 2011).

2.6.3 Efeito das barreiras acústicas

As barreiras acústicas são utilizadas como dispositivos para a atenuação de diferentes fontes geradoras de ruídos, como o fluxo de veículos, máquinas de construção, geradores ou transformadores. A interferência sonora provocada pela barreira acústica ocorre através do bloqueio direto entre fonte e receptor, através de atenuação por difração e, é função da altura e posição da barreira e do comprimento da onda (GERGES, 2000).

Em longas barreiras, ao alcançar o topo, as ondas sonoras flexionam por difração para baixo, a partir da chamada zona de Fresnel, gerando uma zona de sombra acústica (BISTAFA, 2011) (Figura 10).

Figura 10 - Efeitos da barreira acústica



Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

2.6.4 Efeito da vegetação

Para Gerges (2000), a utilização de vegetação como barreiras acústicas é pouco eficaz. No entanto, as vegetações atuam principalmente como isolador visual entre fonte e receptor, fornecendo um efeito psicológico favorável.

Segundo Bistafa (2011), diferentes tipos de vegetação são utilizados com o intuito de atenuar diferentes situações de ruído ambiental. Pequenos ramos, folhagens e arbustos atuam como absorvedores acústicos (altas frequências). Já grandes ramos, troncos e densas folhagens atuam espalhando o som (médias frequências). Uma vegetação densa, situada entre a fonte e o receptor, atua como uma barreira acústica vazada, absorvendo e espalhando o som. Constata-se que a densidade, largura e altura da barreira vegetal são mais importantes na atenuação do que eventuais diferenças entre formas, tipos de galhos e folhas, assim como o espalhamento mostra-se mais importante do que a absorção.

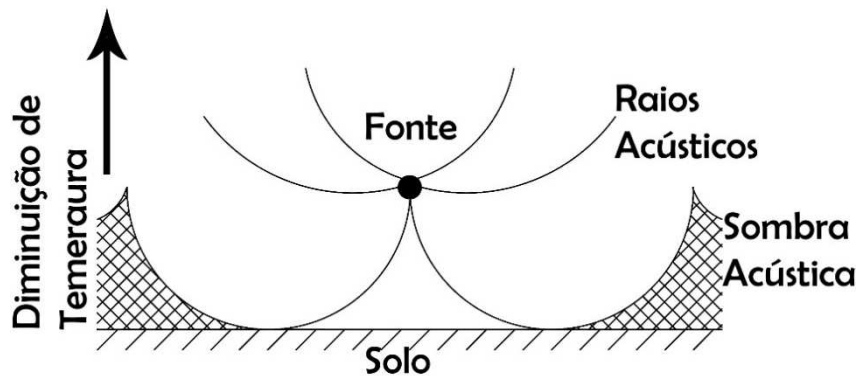
A vegetação contribui para a atenuação quando a largura do cinturão verde for superior a 15 m e quando a incidência de som/ruído estiver na faixa de frequência de 200 a 2000 Hz (GERGES, 2000; BISTAFA, 2011).

2.6.5 Efeitos da temperatura

A velocidade de propagação do som é diretamente proporcional à temperatura do meio. Como a velocidade depende da densidade do meio, no ar, em regiões onde a temperatura é maior, a velocidade do som também será maior (GERGES, 2000; BISTAFA, 2011; SILVA, 2011).

De acordo com Gerges (2000) e Brüel e Kjaer (2000), se a temperatura do ar for menor em camadas mais elevadas, a mudança de direção das ondas ascendentes diverge do solo, afastando-se do mesmo e formando uma sombra acústica (Figura 11).

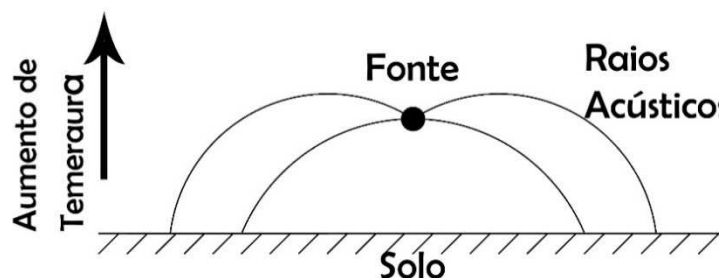
Figura 11 - Efeito de diminuição da temperatura com a altura



Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

Em situações de inversão térmica, onde a temperatura do ar é maior em camadas elevadas, o aumento da velocidade das ondas de frente ocasiona na mudança de direção de ondas ascendentes, convergindo-as em direção ao solo (GERGES, 2000; BISTAFA, 2011) (Figura 12).

Figura 12 - Efeito do aumento da temperatura com a altura



Fonte: Adaptado de Gerges (2000)

2.6.6 Umidade relativa

De acordo com Murgel (2007) e Silva (2011), para uma mesma temperatura, a capacidade de o ar absorver o som, depende de sua umidade relativa. Para uma distância pré-fixada, à medida que a umidade relativa aumenta, menor será a perda do som.

Para Bistafa (2011), as partículas de água presentes no ar coíbem as colisões moleculares, reduzindo a transição de energia cinética e rotacional em energia vibratória.

2.6.7 Efeitos da refração

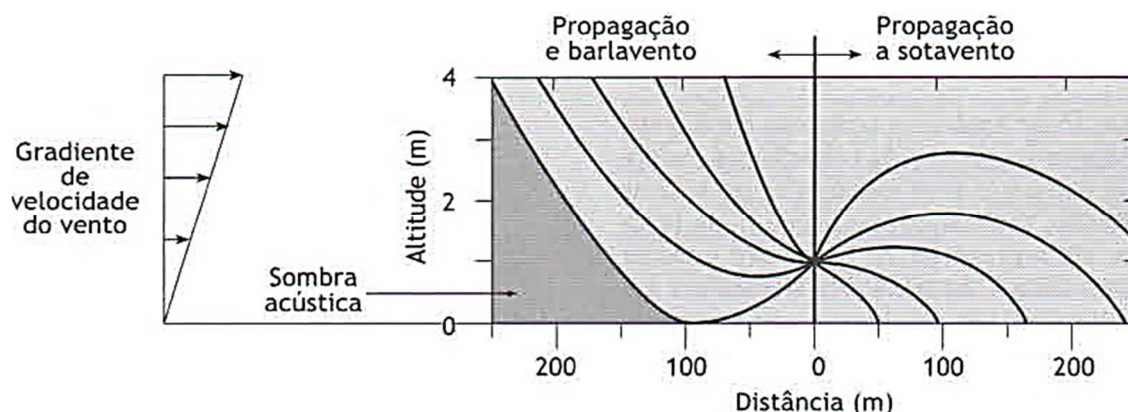
De acordo com Bistafa (2011), a refração é causada por diferentes características do meio, como temperatura e umidade, sendo o fenômeno em que os raios têm sua trajetória alterada, com formas curvas, na direção de menor velocidade de propagação.

2.6.8 Efeito do vento

A velocidade do vento aumenta a partir do momento que a altura aumenta. As camadas de ar próximas ao solo sofrem interferência de obstáculos rugosos que retardam o escoamento normal (BRÜEL E KJAER, 2000; BISTAFA, 2011; SILVA, 2011).

A forma de propagação dos raios acústicos difere de acordo com o sentido favorável ou não, da incidência do vento. A sotavento, ou seja, quando a propagação sonora se dá a favor do vento, a frente da onda converge em direção ao solo, passando a incidir sobre ele. A barlavento, ou seja, quando a propagação sonora se dá contra ao vento, a frente da onda se inclina para cima distanciando-se do solo, formando uma sombra acústica (BRÜEL E KJAER, 2000; BISTAFA, 2011) (Figura 13).

Figura 13 - Variação do caminho das ondas acústicas com o efeito do vento



Fonte: Bistafa (2011)

Brüel e Kjaer (2000) recomendam que, ao fazer medições, estas sejam feitas a sotavento, uma vez que desta forma, o nível sonoro medido sofre pequenas alterações, podendo aumentar o resultado em alguns decibéis, variando conforme a velocidade do vento. Diferente de medições feitas lateralmente ou a barlavento, onde o nível pode cair em mais de 20 dB, em função da velocidade e distância do vento.

2.7 RUIDO AMBIENTAL

2.7.1 Poluição sonora

Silva Filho (2003), Linard (2009) e Andrade e Andrade (2012), apontam que os efeitos nocivos da poluição sonora são percebidos há cerca de 2.500 anos. No entanto, até a década de 70, os estudos sobre poluição atmosférica, se referiam, basicamente, à contaminação oriunda da queima do carvão. Nesta mesma década, na Grã-Bretanha, foi instaurado o Ato de 1974, que tinha por objetivo monitorar a poluição em suas várias formas, incorporando a poluição atmosférica e do solo. Devido à progressiva coação da população, através de organizações contra a poluição, também se sucedeu a conscientização acerca da poluição sonora (GITTINS, 1999).

A poluição sonora, diferentemente das demais formas de poluição, não gera resíduos, odor e tampouco pode ser tocada. Os efluentes da poluição sonora manifestam-se na forma de energia e, são gerados através das diversas atividades antropogênicas, como: os transportes, as indústrias, a construção civil, as atividades de lazer, as escolas e o comércio. Esta energia, mesmo em pequenas dissipações é facilmente percebida pelo ser humano e pelos animais, devido à grande

susceptibilidade auditiva (BUCCHERI FILHO, 2006; PROTI et al., 2011; ANSAY, 2013; SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

Neste cenário, Silva et al. (2004) e Jardim et al. (2014) apontam o ruído como a principal fonte geradora da poluição sonora.

Apesar de o ruído ambiental ser apontado como um dos problemas ambientais que mais causa danos, por outro lado, é o mais negligenciado. No que concerne à conscientização e gestão desta condição de poluição, poucas são as atitudes tomadas (T&E, 2008). Outrossim, de acordo com Silva e Mendes (2005), esta omissão também se deve em virtude da falta de conhecimento no que diz respeito às consequências, quando relacionadas à quantificação e qualificação do ruído a que o homem está exposto diariamente.

Em situações de exposição prolongada, o ruído pode gerar efeitos nocivos ao sistema auditivo, além de alterações comportamentais e orgânicas (SILVA et al., 2004; JARDIM et. al., 2014).

Em ambiente ocupacional, Leão e Diaz (2010) consideram o ruído como sendo o principal causador de sinistros e redução da produtividade, por conta do esgotamento gerado nos trabalhadores. Todavia, Davis e Cornwell (2012) concluem que o ruído, nas atividades executadas, interfere mais qualitativamente do que quantitativamente.

Segundo a WHO (1999) ruídos com níveis de intensidade sonora de até 50 dB não provocam desconforto acústico e ruídos entre 50 e 70 dB são aceitáveis, no entanto o desconforto acústico é iniciado.

Em um enfoque psicológico, Fiorillo (2013) destaca que existe ampla possibilidade de uma pessoa se adequar a um local ruidoso, em contraponto, em uma visão fisiológica isto não ocorre, visto que irão surgir os efeitos físicos.

O ruído urbano afeta uma notável fração da população, sendo o principal agente deste desconforto, o ruído de tráfego, restringindo a qualidade ambiental da vida urbana (SATTLER; ROTT; CORADINI, 1995; SILVA; MENDES, 2005; MARTIN et al., 2006; ANDERSSON et al., 2010; MENDONÇA et al., 2013; CAI et al., 2014). Contudo, evidencia-se uma maior incidência nas classes desfavorecidas, e principalmente em países em desenvolvimento, em razão que estas, possuem menores condições de salvaguardar as edificações do ruído, sejam elas edificações habitacionais, ocupacionais, de saúde ou educacionais (SILVA; MENDES, 2005; PATRÍCIO, 2012).

2.7.2 Ruído de tráfego

O ruído de tráfego é considerado como a principal fonte de poluição sonora, em consequência do desenfreado aumento de veículos junto à carência de planejamento urbano (SILVA FILHO, 2003; SILVA et al., 2010; BUCCHERI FILHO; TONETTI, 2011; ANSAY, 2013; SURIANO, 2014). Normalmente esta sensação de desconforto é percebida por toda a extensão dos grandes eixos rodoviários (INSTITUTO DO AMBIENTE, 2004; SILVA et al., 2010; JESUS, 2011; ANSAY, 2013).

Esta fonte de ruído é caracterizada por uma série de fatores, como o tipo de veículo, o volume de tráfego, a velocidade e as condições de superfície da via, o tipo de pavimento, situações de aclive e declive e a presença de buracos (MENDONÇA et al., 2013). A condição de conservação do veículo também contribui para o aumento ou não dos níveis de ruídos (SATTLER; ROTT; CORADINI, 1995).

Este ruído é resultante da contribuição coletiva de diferentes fontes individuais, como veículos leves, veículos pesados e motocicletas. Os níveis de ruídos emitidos por estas fontes variam de acordo com o modo de operação das mesmas (SOUZA, 2004; McDADE et al., 2012; ANSAY, 2013). A radiação sonora também varia de acordo com o modo de condução. Em baixas velocidades, prevalecem os níveis de ruídos resultantes do funcionamento do motor e do sistema de exaustão dos veículos, e em velocidades acima de 40 km/h, prevalecem os níveis provenientes do atrito entre os pneus e o pavimento (FREITAS, 2008; OUIS, 2011; McDADE et al., 2012; ANSAY, 2013).

Os veículos leves apresentam os menores níveis de emissão sonora quando comparados com os veículos pesados e as motocicletas. No entanto, devido ao elevado número de veículos leves em circulação, os mesmos contribuem significativamente na caracterização sonora dos centros urbanos (SOUZA, 2004).

Os veículos pesados (caminhões e ônibus), geralmente movidos a óleo diesel, apresentam um sistema de combustão com maior flutuação de pressão nos cilindros, quando comparados aos veículos com sistema de combustão a gasolina. Isto faz com que o nível de emissão de ruído seja maior. Soma-se a isto um fator importante na propagação do ruído emitido por este tipo de veículo. Com velocidades médias menores, os veículos pesados contribuem significativamente aos ruídos de baixa frequência, as quais se propagam por longas distâncias em nosso tecido urbano (SOUZA, 2004).

As motocicletas emitem ruídos em diferentes níveis, variando de acordo com a classe e a potência das mesmas. Comparando-as com veículos leves e pesados, os níveis de intensidade sonora emitidos por motocicletas, mesmo em acelerações normais, por muitas vezes apresentam-se superiores (SOUZA, 2004).

De acordo com Valadares (1997), além da radiação oriunda das características inerentes às diferentes formas de veículos, também ocorrem interações dos mesmos com o fluxo envolvente e as condições da pista.

Souza (2004) descreve os principais fatores responsáveis pela geração de ruídos de tráfego, como:

- Tipo e classe de veículo (peso e potência mecânica);
- Condições mecânicas em serviço;
- Modo de operação dos veículos (velocidade constante, aceleração ou desaceleração, marcas, etc.);
- Pavimento da via (o ruído ocorre devido ao atrito pneu/superfície, sendo assim, o ruído varia de acordo com a camada superior da via e o tipo de pneu utilizado);
- Aclive e declive (em situações de gradiente elevado da via, geralmente, o ruído emitido é maior do que em vias planas);
- Medidas de controle de ruídos utilizadas em projetos de veículos;
- Forma de propagação (existência de obstáculo ou barreira acústica que interfira na propagação do ruído no tecido urbano).

Segundo Nunes (1999), Kragh (2011) e Freitas et al. (2012), o tipo de superfície dos pavimentos rodoviários e seu estado de conservação, influenciam diretamente na redução ou aumento de ruído de tráfego. Os ruídos gerados em função do atrito do pneu com a pavimentação variam de acordo com a textura, padrão e porosidade da superfície. No entanto, os níveis de emissão podem sofrer alterações com a presença ou implementação de elementos externos como tampas de esgotos e até mesmo redutores de velocidade, tais como lombas e bandas sonoras.

Além destes elementos, a fluidez do tráfego é item fundamental para caracterizar o nível de ruído das vias. Pontos que exigem redução significativa da velocidade ou a parada total de veículos, seguida de aceleração dos mesmos, como cancelas, paradas e cruzamentos com ou sem semáforos, são resultantes de maiores

emissões ruidosas, gerando maior desconforto se confrontado ao fluxo constante (NUNES, 1999; PINTO, 2013).

Freitas et al. (2013) avaliaram algumas medidas de redução de velocidade, as quais atuam no aumento de segurança, principalmente para os transeuntes. Através de medições, os autores perceberam que medidas de desaceleração, como lombas e bandas sonoras, originaram picos de ruídos significativamente maiores, se comparados aos ruídos emitidos pela superfície do pavimento. Estes picos de ruídos foram sempre superiores a 9 dB(A).

2.8 EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO AO SER HUMANO

A poluição sonora provocada, principalmente, pelo ruído de tráfego está relacionada como um dos problemas de saúde ambiental mais frequente no continente europeu. Estatisticamente, uma em cada três pessoas é perturbada pelo ruído de tráfego durante o dia e, à noite, uma em cada cinco pessoas sofre de distúrbios de sono (WHO, 2012).

De acordo com Goines e Hagler (2007) e Silva (2011), este incômodo provocado pela exposição do homem ao ruído, manifesta-se com repercussão sobre o aparelho auditivo, atividades do cérebro, vários órgãos e também sobre a atividade física e mental.

A WHO (1999) descreve as principais adversidades e efeitos à exposição de diferentes níveis equivalentes de pressão sonora, de acordo com o ambiente específico e o tempo de exposição (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores-guia de ruído ambiente

Locais de recepção	Efeitos sobre a saúde	LAeq [dB(A)]	Base de tempo (h)	LAmáx fast [dB]
Zona residencial exterior	Forte incômodo durante o dia e o entardecer	55	16	-
	Incômodo moderado durante o dia e o entardecer	50	16	-
Interior das habitações	Inteligibilidade de fala e incômodo moderado, dia e noite	35	16	45
Interior de quartos	Distúrbio de sono, à noite	30	8	45
Interior de quartos	Distúrbio de sono, janela aberta (valores externos)	45	8	60
Salas de aula de escolas e pré-escolas, interno	Inteligibilidade da fala, perturbação da extração de informação e comunicação	35	Período de aulas	-
Quartos de pré-escola, interno	Distúrbio de sono	30	Período de sono	45
Escola, playground externo	Incômodo (fonte externa)	55	Durante as atividades	-
Hospitais, ala de quartos, internos	Distúrbio de sono	30	8	40
	Distúrbio de sono, dia e entardecer	30	16	-
Hospitais, quartos de tratamento, interno	Interferência no descanso e na recuperação do paciente	#1		
Industrial, comercial, shopping, áreas de tráfego, internas e externas	Deficiência auditiva	70	24	110
Cerimônias, festivais e eventos de entretenimento	Deficiência auditiva	100	4	110
Locais públicos, interno e externo	Deficiência auditiva	85	1	110
Música e outros sons através de fones de ouvido	Deficiência auditiva	85#4	1	110
Sons Impulsivos de brinquedos, fogos de artifício e armas de fogo	Deficiência auditiva em adultos	-	-	140#2
	Deficiência auditiva em crianças	-	-	120#2
Externo em parque e áreas de conservação	Perturbação da tranquilidade	#3	-	-

Fonte: WHO (1999)

#1: O mais baixo possível;

#2: Pico de pressão sonora (não LAF, máx) medido 100 mm a partir do ouvido;

#3: Áreas externas quietas devem ser preservadas, a introdução ruídos não deve alterar o baixo ruído de fundo;

#4: Com fones de ouvido, adaptado para valores de campo livre.

Os primeiros sinais de desconforto provocados por diferentes fontes de ruído são percebidos por uma parcela da comunidade a partir de 65 dB(A). A partir de 75

dB(A) a sensação de incômodo torna-se geral e, níveis acima de 80 dB(A) são considerados inaceitáveis. Nota-se que o início do desconforto é marcado por um acréscimo de 3 dB(A) acima do ruído de fundo preexistente, com 5 dB(A) o desconforto é médio e com um aumento de 10 dB(A) a perturbação é elevada (MURGEL, 2007).

Levy e Beaumont (2004) enfatizam que ruídos contínuos são menos desconfortáveis que ruídos alternados.

2.8.1 Efeitos auditivos

De acordo com Murgel (2007), a audição é possível graças ao complexo sistema auditivo que transforma as mínimas variações de pressão no ar (vibrações sonoras) em sinais neurológicos passíveis de interpretação e compreensão pelo cérebro como sons.

Naturalmente, com a idade, as células responsáveis pela audição vão perdendo sua capacidade vibratória, diminuindo a acuidade auditiva. Esse processo inicia a partir dos 30 anos de idade, sendo normal, aos 70 anos, uma diminuição de 10 dB em baixas frequências e até 50 dB em altas frequências (MURGEL, 2007).

No entanto, este processo de perda auditiva pode ocorrer precocemente devido à exposição a elevados níveis de ruídos. Os primeiros efeitos fisiológicos decorrentes da exposição a altos níveis de ruído é a perda da acuidade auditiva nas bandas de 4 a 6 kHz (GERGES, 2000; MURGEL, 2007).

A perda auditiva pode se manifestar de forma temporária e permanente. Como o próprio nome indica, a perda temporária é caracterizada pela recuperação da acuidade auditiva após a exposição ao ruído intenso. Esta perda é acompanhada de um “zumbido” após o afastamento da fonte, com duração de minutos ou até horas. Já a perda permanente, provoca lesões irreversíveis ao sistema auditivo, tanto em baixas, médias e altas frequências (GERGES, 2000; MURGEL, 2007; GOINES; HAGLER, 2007; BISTAFÁ, 2011).

Esta perda auditiva permanente, mesmo que parcial, é caracterizada inicialmente pela dificuldade de compreensão de algumas palavras. Também pode acarretar em transtornos psicológicos, em função do afastamento e/ou discriminação das pessoas, que muitas vezes não é proposital (CALIXTO, 2002).

2.8.2 Efeitos não auditivos

Além dos efeitos diretamente ligados ao sistema auditivo, diversos estudos vêm comprovando a ligação entre os níveis elevados de ruído, aos quais a população está exposta e os sérios efeitos causados ao corpo humano. Estes efeitos manifestam-se através da aceleração da pulsação, aumento da pressão sanguínea e estreitamento dos vasos sanguíneos (GERGES, 2000).

Segundo Goines e Hagler (2007), Bistafa (2011) e Liu et al. (2013), além de distúrbios cardiovasculares, esta exposição provoca adicionalmente distúrbios respiratórios, perturbação e alterações na saúde física e mental. Dentro de ambientes de trabalho, o ruído intenso afeta negativamente o desempenho durante as atividades desenvolvidas, dificultando a comunicação oral e a concentração. Em áreas ao ar livre, o ruído provoca distúrbios em atividades como o sono e a concentração, que causam impactos psicológicos, podendo prejudicar a saúde mental.

Maxwell e Evans (2000) evidenciaram que em escolas localizadas em zonas ruidosas, o desempenho escolar dos alunos é inferior quando comparados a alunos de escolas em zonas relativamente livres de ruídos. Estes efeitos manifestam-se negativamente, dificultando a leitura, a escrita, a fala e até mesmo a compreensão.

Nesta esfera, existem também as disfunções psicológicas provocadas pelo ruído excessivo, que podem interferir no convívio e na interação social. Nota-se que pessoas que vivem em ambientes ruidosos sentem-se desestimuladas a conversar, uma vez que para tal, são forçadas a falarem mais alto para serem compreendidas (GOELZER et al., 2001; CALIXTO, 2002; GOINES; HAGLER, 2007).

O sono, atividade fundamental para o bom desempenho fisiológico e mental em pessoas saudáveis, está entre os principais distúrbios provocados pelo ruído em excesso, afetando principalmente as fases reparadoras do organismo e do cérebro. Estas disfunções são classificadas em primárias e secundárias. As disfunções primárias estão diretamente ligadas à qualidade do sono, acarretando em alterações dos estágios do sono, dificuldade em adormecer, insônia e como consequência, redução do sono profundo. As disfunções secundárias prejudicam atividades do cotidiano, como qualquer tipo de aprendizado ocorrido durante o dia ou até mesmo o rendimento profissional, resultando em prostração e alterações de humor e disposição (WHO, 1999; CALIXTO, 2002; GOINES; HAGLER, 2007; LIU et al., 2013).

Todavia, os efeitos negativos sobre a saúde não estão sujeitos somente às particularidades do ruído, os mesmos variam de acordo com o ambiente e a forma como cada indivíduo sente e reage (Maciel et al., 2009).

2.9 LEGISLAÇÕES E NORMAS PARA RUÍDO AMBIENTAL

2.9.1 Âmbito internacional

O ruído é considerado agente causador de desconforto a datar da origem da vida em centros urbanos. Existem indícios de regras já na antiga Roma e na Europa medieval, no que concerne ao tráfego de carroças e/ou de cavalos, em função do rumor emitido por estes (NIEMEYER, 2007).

A problemática do ruído ambiental expandiu-se e começou a ser tratada, pioneiramente, pelos Estados Unidos, a partir da década de 60, quando houve um grande crescimento no tráfego aéreo e rodoviário, em função do desenvolvimento econômico. Em princípios da década seguinte, é instituído a U. S. Environmental Protection Agency – EPA (Agência Americana de Proteção Ambiental), com o intuito de criar legislações que tratam dos problemas ligados à poluição sonora (BENTO COELHO, 2007; EPA, 2016).

Na Europa, com a finalidade de criar uma legislação comunitária, foi instituído o Conselho da União Europeia, que conta com representantes dos Estados-Membros e representa a principal entidade de deliberação juntamente com o Parlamento Europeu (EUROPEAN UNION, 2016; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2016). Apesar de o Conselho ter sido fundado em 1958, somente a partir da década de 70 inclui algumas classes de ruído em suas legislações comunitárias, como é visto na Diretiva 70/157/CEE, que trata do nível sonoro admissível e dos dispositivos de escape dos veículos automotores. Em 1977, trata do nível sonoro à altura dos ouvidos dos condutores de tratores agrícolas ou florestais de rodas, na Diretiva 77/311/CEE. Em dezembro de 1979, na Diretiva 80/51/CEE, o Conselho aborda a importância do combate ao ruído proveniente do tráfego aéreo e fixa limites de emissões sonoras de aeronaves subsônicas. Em meados de 1992, adota medidas referentes às emissões sonoras provindas de veículos motores de duas ou três rodas, destinados a transitar na estrada, na Diretiva 92/61/CEE. Em maio de 2000, na Diretiva 2000/14/CE, discorre

sobre as emissões sonoras no ambiente devido à utilização de máquinas de uso ao ar livre.

No entanto, somente em 2002, na Diretiva 2002/49/CE, o Conselho aborda os efeitos prejudiciais à saúde da população, provindos da exposição ao ruído ambiente e o desconforto por ela causado. Com esta Diretiva, o Conselho tem como principal propósito obter uma perspectiva geral do cenário europeu, especialmente nos centros urbanos e nas imediações das infraestruturas de transportes. Nesta esfera, gera-se um entendimento comum entre os Estados-Membros sobre os efeitos do ruído, possibilitando, desta forma, idealizar estratégias de avaliação, gerenciamento e atenuação destes ruídos.

A partir da Diretiva 2002/49/CE são especificados novos indicadores (L_{den} e L_n) para a elaboração de mapas de ruído, que acarretaram em adaptações das legislações existentes de cada Estado-Membro, e como resultado, tem-se o ajuste dos valores limite dos diversos indicadores de ruído ambiente (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

Tratando-se dos países europeus, Portugal foi o precursor a indicar parâmetros de qualidade acústica, em 1987, e a aprovar, em nível nacional, através do Decreto-Lei nº 251/87, uma regulamentação que abordava grande parte das classes de ruído ambiente, sendo esta a primeira versão do Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR). Em 1996, foi publicado pela Direção Geral do Ambiente, o “Ruído Ambiente em Portugal”, sendo resultado de um estudo sobre exposição da população ao ruído (INSTITUTO DO AMBIENTE, 2006). Em 2000, através do Decreto-Lei nº 292/2000, foi aprovado o Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS), que se fez mais adequado face ao grau de entendimento sobre o ambiente sonoro europeu, uma vez que além de propor intervenções corretivas, sugere ações preventivas. Neste regulamento, recomendava-se o uso do indicador L_{Aeq} para os períodos diurno e noturno. Algumas alterações do Decreto-Lei nº 292/2000, visando o bem-estar e saúde da população, são previstas através dos Decretos-Lei 76/2002, 259/2002 e 293/2003. Estas alterações incluem valores limite das emissões sonoras, diretrizes para a elaboração dos planos de redução de ruído, monitorização e mapas de ruído e, restrições de operação específicas a cada aeroporto. No Decreto-Lei de 293/2003, para a elaboração de mapas de ruído, são sugeridos, quando disponíveis, os indicadores L_{den} e L_n . No entanto, somente a partir de 2006, conforme recomendação da Diretiva Europeia e através do Decreto-Lei nº 146/2006, é indicado,

preferencialmente, o uso dos indicadores L_{den} e L_n , para a elaboração de mapas estratégicos, sendo preconizada a importância de planos de ação para gerenciar o ruído ambiente e os incômodos por ele causados. Em janeiro de 2007, é aprovado o Regulamento Geral de Ruído (RGR) por meio do Decreto-Lei nº 9/2007, que substitui o RLPS de 2000, incorporando conceitos recomendados pela Diretiva 2002/49/CE, em concordância com o Decreto-Lei nº 146/2006 (APA, 2016).

Na Holanda, desde a legislação *Noise Abatement Act*, de 1979, utiliza-se o indicador L_{Aeq} , com penalidades iguais às do indicador L_{den} (LAMBERT, 1994). Com a inserção das Diretivas Europeias, legitimou-se o *Noise Abatement Act*, de 2007, onde passou-se a utilizar o indicador L_{den} na avaliação do ruído procedente do tráfego rodoviário e ferroviário (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

Na Itália, a partir de 1991, utiliza-se o indicador L_{Aeq} , para avaliação dos níveis de ruído ambiente, nos períodos diurno e noturno, através dos limites fixados pelo *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri* (D.P.C.M. 1991, 2016). Em 1995, a Lei 447/95 "*Legge Quadro sull'inquinamento acustico*" oferece um balizamento mais completo, onde são incluídos zoneamentos acústicos, programas de controle e diferentes períodos em função do tipo de ruído (tráfego rodoviário, ferroviário e indústria ou tráfego aéreo) (L.Q.S.A, 2016). Em 1997, ainda fazendo uso do indicador L_{Aeq} , são estabelecidos valores limite de emissão das fontes sonoras, consoante com o uso dos solos (D.P.C.M., 1997). Em 2005, através do Decreto-Lei D. LGS. Nº 194/2005, foi inserido o período do entardecer e empregues os indicadores L_{den} e L_n , conforme Diretiva 2002/49/EC (D. LGS. Nº 194/2005, 20016; LICITRA, 2007).

Na Espanha, adaptou-se a Ley 37/2003, em concordância com a Diretiva 2002/49/CE, efetivada através do Real Decreto 1367/2007. No entanto, o indicador L_{den} é sugerido somente para a realização de mapeamentos acústicos. Estes mapas, segundo a respectiva Lei, devem ser elaborados para os grandes eixos rodoviários e ferroviários, grandes aeroportos e aglomerações, pelas cidades com população superior a 100 mil habitantes.

Na França, a primeira legislação que trata sobre o ruído, denominada *Loi cadre sur le bruit*, data de 1992 e utiliza o indicador $L_{Aeq, T}$ (período diurno e noturno) para o ruído proveniente das indústrias e do tráfego rodoviário e ferroviário. Os indicadores, L_{den} e L_n , especificados pela Diretiva 2002/49/CE, passam a ser utilizados em substituição do indicador $L_{Aeq, T}$, a partir da *Circulaire 040525* (2004), somente para a identificação das zonas com medições feitas nas fachadas, que as emissões sonoras

oriundas do tráfego rodoviário e ferroviário extrapolam os valores limite. Para avaliação do ruído de tráfego rodoviário e ferroviário foi mantido o indicador $L_{Aeq, T}$, período diurno e noturno (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

Na Dinamarca, utilizava-se indicador $L_{Aeq, 24h}$ até 2007, quando foi adaptado para o indicador L_{den} , com as mesmas penalidades sugeridas pela Diretiva 2002/49/CE, conforme recomendação da Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa (Danish Environmental Protection Agency), nº 4/2007, denominada “Noise from Roads” (M.E.F.D., 2016).

Na Alemanha, através da legislação de 2006 (Verkehrslärmschutzverordnung), também se utiliza o indicador L_{den} exclusivamente para elaboração das cartas de ruído. Para infraestruturas de transporte emprega-se o indicador L_{Aeq} , que divide-se nos períodos diurno (16h) e noturno (8h) (BENTO COELHO; FERREIRA, 2009).

2.9.2 Âmbito nacional

No cenário nacional, tratando-se de normas que abordam o ruído, as de maior relevância são a NBR 10.151:2000 e a NBR 10.152:1987. Ambas, são normas emitidas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A NBR 10.151:2000, que substitui a NBR 10.151:1987, Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, tem por objetivo fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações, indicando um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores. A metodologia compreende medições do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) em dB(A).

A referida norma, além de abordar definições de acústica, indica equipamentos de medição, calibradores acústicos e procedimentos de medição. Também preconiza correções nos níveis medidos, no caso de os ruídos apresentarem características especiais. Sendo que o critério de avaliação é baseado pela comparação entre o nível de pressão sonora corrigido (L_c) e o nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, indicado na Tabela 3, estabelecido consoante com a tipologia de cada área e o período (diurno ou noturno). O NCA pode ser substituído pelo L_{Aeq} ,

desde que não haja ruídos de caráter impulsivo ou tonais durante o período de medição.

Tabela 3 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos dB(A)

Tipos de área	Diurno (7h - 21h)	Noturno (22h - 7h)
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana, ou de hospitais ou 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: Adaptado de NBR 10151:2003

Já a NBR 10.152:1987 - Níveis de ruído para conforto acústico, tem por objetivo fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, consoante com os valores dB(A) e NC exibidos na Tabela 4. Valores superiores aos especificados são considerados como incômodo.

Tabela 4 - Valores dB(A) e NC

Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
Hotéis		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
Restaurantes	40-50	35-45
Escritórios		
Salas de reunião	30-40	25-35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40
Salas de computadores	45-65	40-60
Salas de mecanografia	50-60	45-55
Igrejas e Templos (Cultos mediativos)	40-50	35-45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Fonte: Adaptado de NBR 10152:1987

Além da ABNT, no Brasil, existe o Conselho Nacional do Meio Ambiente, o CONAMA, que é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). O Conselho possui como principal instrumento as Resoluções, através das quais são estabelecidas normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, visando o uso racional dos recursos ambientais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

No âmbito de questões relacionadas ao ruído, o CONAMA aborda as várias classes, como é visto nas Resoluções a seguir:

- Resolução CONAMA Nº 001/1990 – Dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política;

- Resolução CONAMA Nº 002/1990 - Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO;
- Resolução CONAMA Nº 001/1993 - Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para veículos automotores nacionais e importados, excetuando-se motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhado;
- Resolução CONAMA Nº 002/1993 - Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, nacionais e importados;
- Resolução CONAMA Nº 006/1993 - Estabelece prazo para os fabricantes e empresas de importação de veículos automotores disporem de procedimentos e infraestrutura para a divulgação sistemática, ao público em geral, das recomendações e especificações de calibração, regulagem e manutenção do motor, dos sistemas de alimentação de combustível, de ignição, de carga elétrica, de partida, de arrefecimento, de escapamento e, sempre que aplicável, dos componentes de sistemas de controle de emissão de gases, partículas e ruído;
- Resolução CONAMA Nº 017/1995 - Dispõe sobre os limites máximos de ruído para veículos de passageiros ou modificados;
- Resolução CONAMA Nº 230/1997 - Dispõe sobre a proibição do uso de equipamentos que possam reduzir, nos veículos automotores, a eficácia do controle de emissão de ruídos e de poluentes atmosféricos;
- Resolução CONAMA Nº 268/2000 - Estabelece método alternativo para monitoramento de ruído de motociclo;
- Resolução CONAMA Nº 272/2000 - Dispõe sobre os limites máximos de ruído para os veículos nacionais e importados em aceleração, exceto motocicletas, motonetas, ciclomotores e veículos assemelhados;
- Resolução CONAMA Nº 418/2009 - Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M pelos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente e determina

novos limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso;

- Resolução CONAMA Nº 433/2011 - Dispõe sobre a inclusão no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE e estabelece limites máximos de emissão de ruídos para máquinas agrícolas e rodoviárias novas.

As Resoluções do CONAMA levam em consideração as normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e as normas acima referidas (NBR 10.151/2000 e NBR 10.152/1987) emitidas pela ABNT. Fica a cargo do IBAMA instruir sobre procedimentos e exigências complementares para a implantação das devidas Resoluções, além de controlar e decidir sobre os casos omissos.

2.9.3 Âmbito municipal

No contexto municipal, a cidade conta com a Lei Orgânica do Município de São Leopoldo, que se fundamenta nos conceitos da Constituição Federal e Estadual. Através desta lei, o município, em conjunto com a União, Estados e Distrito Federal, responsabiliza-se em garantir o pleno desenvolvimento das funções sociais, garantindo o bem-estar de seus habitantes, bem como proteger o meio ambiente, estabelecendo normas que resguardem e controlem a poluição em suas diversas classes.

A cidade de São Leopoldo conta com instrumentos de avaliação, prevenção e controle da poluição. Dentre eles, pode-se citar a Lei nº 6.020, de 2006, que trata do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) e a Lei nº 6.463, de 2007, que institui o Código Municipal de Meio Ambiente e Zoneamento Ambiental.

A Lei nº 6.020, foi implementada em conformidade com os Artigos 36, 37 e 38 do Estatuto da Cidade, que faz do EIV um instrumento que discrimina os empreendimentos e atividades que necessitarão elaborar este estudo para a obtenção da licença de construção, permitindo assim uma avaliação dos impactos, causados por estes, sejam benéficos ou adversos. Neste documento deverá constar, entre outras informações, uma análise do nível de ruído, nível de tráfego e demanda por transporte público que o empreendimento ou atividade irá gerar.

Já a Lei nº 6.463, trata e regulamenta os direitos e obrigações relativos ao controle de todas as classes de poluição, recuperação, conservação e preservação

dos recursos ambientais. No que discorre sobre poluição sonora, o Capítulo IV desta lei, objetiva assegurar o sossego e bem-estar público, empregando para tal, os limites estabelecidos pelas Normas da ABNT, Resoluções do CONAMA e demais recursos legais em vigor. Também são abordados os níveis de pressão sonora em função do uso do solo, determinando as atividades e áreas consideradas sensíveis a ruídos, além da forma e período de medição dos níveis de som incômodo. No que concerne à emissão de sons, ruídos gerados por veículos automotores, esta lei se reporta aos níveis estabelecidos pelas normas emitidas pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN.

2.10 MAPAS DE RUÍDO

A elaboração dos Mapas de Ruído pode ser o primeiro passo ao combate da poluição sonora, uma vez que através destes é possível detectar e mensurar as fontes de emissão. Da mesma forma, os Mapas de Ruído estimam futuras hipóteses com a inserção de novas fontes de emissão sonora, possibilitando simulações sobre o impacto das mesmas sobre a população, auxiliando na concepção de projetos de atenuação de ruído (AFONSO, 2010; SILVA et al., 2010).

Os mapas de ruídos possuem um potencial de aplicação em diversas escalas, podendo ser utilizados para objetivos distintos de estudo. O uso desta ferramenta vai desde a escala de quadra ou bairro até grandes infraestruturas rodoviárias (CORTÊS; NIEMEYER, 2013).

Moraes et al. (2003), Cantieri et al. (2010) e Costa e Lourenço (2011), afirmam, através de seus respectivos estudos e levantamentos em algumas cidades do país, que grande parte dos centros urbanos sofre com ruídos que excedem os indicativos da NBR 10.151:2000, podendo concluir desta forma, a agravante necessidade de preocupação com tratamento acústico para edificações existentes e futuras construções.

Segundo Santos e Valado (2004) os mapas de ruído são uma importante ferramenta no planejamento urbano e territorial, por possibilitarem a identificação e quantificação do ruído existente, bem como prever futuros impactos provindos de novas instalações e infraestruturas.

Para validação dos estudos através de mapas sonoros e simulações, faz-se necessário um levantamento da área em estudo. Perfis e seções transversais das

vias, altura das edificações, topografia, bem como fluxo e contagem de veículos, com sua respectiva discriminação, são fundamentais para uma adequada fidelização dos efeitos da propagação sonora (GIUNTA, 2013).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo, serão analisados todos os elementos necessários para a elaboração de um mapa de ruído para o Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), na cidade de São Leopoldo.

Elaborado para representar os níveis de ruídos do mês de novembro de 2015, o mapa caracteriza o ambiente sonoro do Campus para a pior situação de tráfego no ano.

Primeiramente, será apresentada a área de estudo para o presente trabalho, contextualizando a importância da UNISINOS para a cidade de São Leopoldo e região. Após, será apresentada a definição dos pontos, dias e horários de medição dos níveis de pressão sonora coletados em campo. Em seguida, serão apresentados todos os parâmetros utilizados para a geração do mapeamento sonoro do Campus. Os valores atribuídos para os parâmetros apresentados, são considerados como os mais confiáveis para a fiel representação do ambiente do Campus, e são utilizados no modelo final para validação frente os resultados coletados em campo. Neste item, serão descritos os seguintes parâmetros de configuração: definição das variáveis (meteorológicas, acústicas, tráfego e geométricas); definição de parâmetros de cálculo e modelagem do ambiente avaliado.

E, finalmente, serão apresentados 13 diferentes modelos, com diferentes configurações, utilizados para a calibração e validação de um modelo representativo a realidade do Campus.

Realizado através de software de predição sonora (CadnaA), todos os mapas apresentados foram elaborados, utilizando-se o método de cálculo Francês NMPB Routes-96, através da contagem automática de veículos, realizada por controladores eletrônicos, situados na Avenida Unisinos e através da contagem automática das cancelas de acesso ao Campus.

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Microrregião de Porto Alegre, na cidade de São Leopoldo, Estado do Rio Grande do Sul, conforme Figura 14.

Figura 14 – Localização da Universidade do Vale do Rio dos Sinos



Fonte: Adaptado pelo autor

Constituída em 25 de julho de 1824, com a chegada dos primeiros imigrantes alemães, a cidade é considerada o princípio da colonização alemã no Brasil. O município, que na época possuía um território com mais de mil km², determinou o início da região, hoje intitulada de Vale do Rio dos Sinos. Conhecida pela sua relevância econômica na região, distante 31,4 km da capital gaúcha, os principais acessos à cidade se dão pela BR 116 e RS 240. Possui área total de 102,738 km², sendo 69,87 km² de área urbana (dividida em 24 bairros), 14,84 km² de área rural e 17,60 km² de área de preservação. A cidade conta com uma população de 214.087 habitantes e se destaca por ficar na quarta posição, dos municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre, que mais recebem pessoas de outras cidades para estudar e trabalhar (IBGE, 2010; PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO, 2015).

A UNISINOS, cenário para o estudo da presente dissertação, possui importante papel na economia de São Leopoldo, sendo também a maior responsável por atrair pessoas de outras localidades para a cidade.

A universidade é uma instituição privada e está entre as maiores do Brasil, com aproximadamente 31 mil alunos, distribuídos nas diversas modalidades de cursos, presenciais e à distância. Com 46 anos de funcionamento, a instituição iniciou suas atividades no centro de São Leopoldo, em 31 de julho de 1969. Em 1973, ocorreu a abertura da Avenida Unisinos, com extensão de 2,5 km, exercendo a fundamental função de ligação entre a BR 116 e o novo e atual Campus da universidade, que foi inaugurado em 1974. Cinco anos após a abertura oficial da nova sede, em 1979, foi inaugurado o Terminal Rodoviário, localizado na Avenida Unisinos, junto à um dos principais acessos da instituição. No ano de 2000, iniciaram-se as operações da Linha Circular, que faz a conexão, pela Avenida Unisinos, entre o Campus e a Estação

Unisinos da Trens Urbanos de Porto Alegre S.A. (Trensurb). Na Figura 15, é apresentada a imagem do Campus, as principais vias e terminais de acesso ao mesmo.

Figura 15 – Principais vias e terminais de acesso ao Campus



Fonte: Autor

O Campus de São Leopoldo possui uma área total de 90,55 hectares, que conta com lagos, jardins, áreas de preservação ambiental e algumas espécies animais. Sua estrutura física é composta por mais de 400 salas de aula, laboratórios de informática, laboratórios para pesquisa e experimentação, auditórios, o Complexo Desportivo que abrange uma infraestrutura de ginásios, campos, academia e pista atlética. Também compreende uma das maiores bibliotecas da América Latina, com cerca de 770 mil exemplares, que atende alunos, professores, funcionários e também toda a comunidade externa. Além da estrutura que atende toda a comunidade acadêmica e comunidade externa, o Campus ainda sedia o Parque Tecnológico de São Leopoldo (Tecnosinos), que acomoda em torno de 70 empresas, entre elas, empresas nacionais e importantes empresas estrangeiras. Na Figura 16, faz-se a ilustração do uso e ocupação do solo do Campus.

Figura 16 – Uso e ocupação do solo



Fonte: Autor

Mantida até os dias de hoje pela Associação Antônio Vieira, que é ligada à Companhia de Jesus, a UNISINOS está incluída em uma rede internacional de instituições educativas, contando com cerca de 200 instituições jesuítas de ensino superior em todo o mundo. A universidade possui Campi alocados nos três estados da região sul do Brasil. Além da sede de São Leopoldo, possui unidades nas cidades de Porto Alegre, Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Florianópolis e São Paulo, contando com polos de Educação à Distância nos estados de Santa Catarina e Paraná.

3.2 DEFINIÇÃO DOS PONTOS, DIAS E HORÁRIOS DE MEDIÇÃO

As medições foram realizadas durante o período letivo da universidade, no mês de novembro do ano de 2015. O critério de escolha para este período de medição ocorreu pelo histórico de movimento no Campus. No mês de novembro ocorrem as provas de final de semestre e, conseqüentemente, o aumento de fluxo no mesmo. Estes dados comprovam-se através do monitoramento de tráfego dos controladores eletrônicos presentes na avenida Unisinos que evidenciam o maior fluxo de veículos neste mês (Tabela 5).

Tabela 5 – Fluxo mensal de veículos para o período letivo

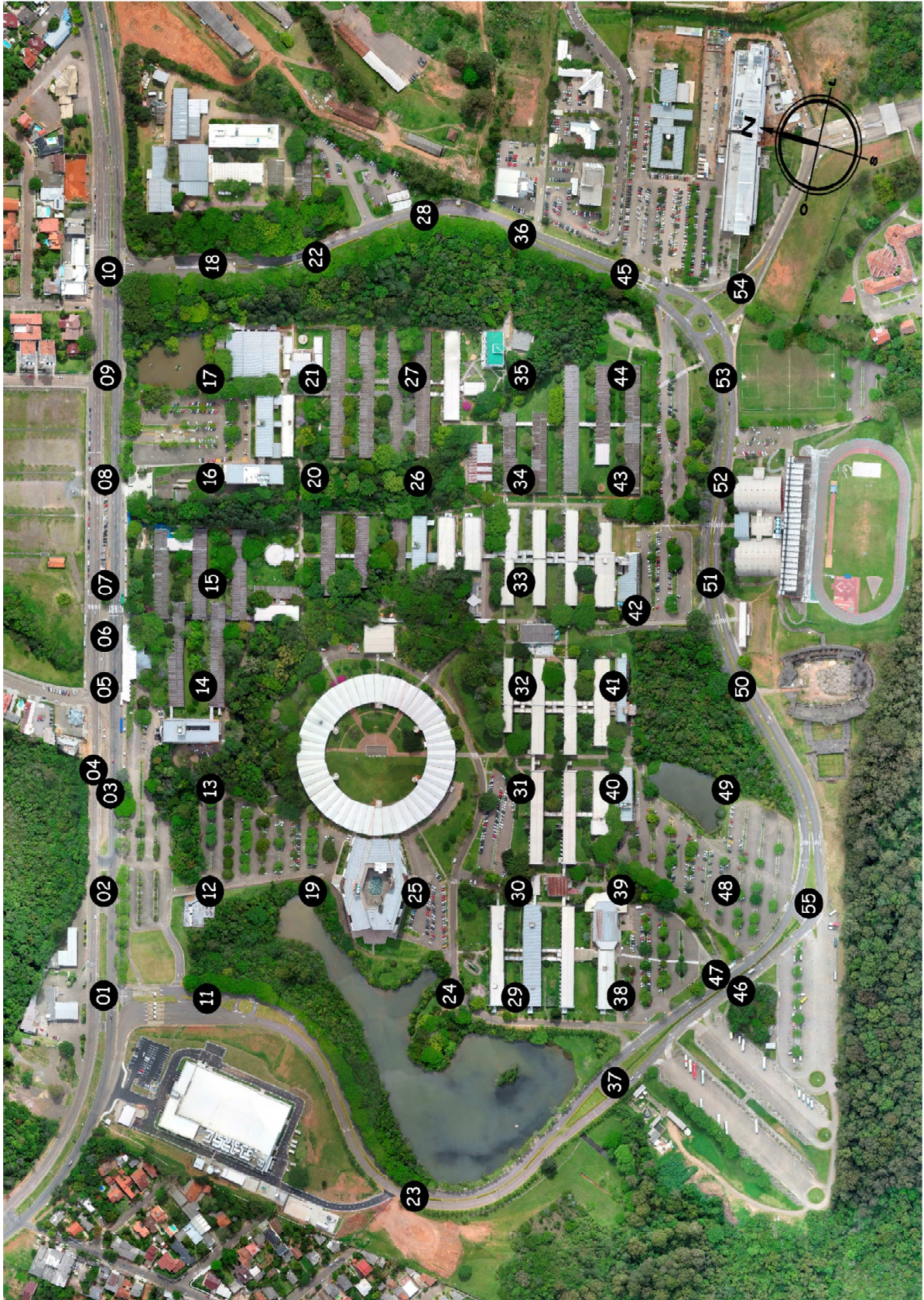
Mês	Fluxo mensal de veículos
Março	76.591
Abril	205.548
Maio	203.494
Junho	221.747
Julho	185.619
Agosto	223.675
Setembro	216.193
Outubro	230.816
Novembro	242.276

Fonte: GCM São Leopoldo (2015)

A delimitação da área a ser avaliada é formada pela Avenida Unisinós e a via interna ao Campus, que conflui com a própria avenida. A partir da área selecionada, os pontos de medição foram distribuídos de tal forma que pudessem caracterizar a área de estudo, disseminados em uma malha de aproximadamente 100 x 100 metros (Figura17). Locados os pontos, verificou-se a necessidade de remoção e relocação de alguns pontos, devido à presença predominante de outras fontes de ruído, que não o ruído proveniente do tráfego. Também foram adicionados pontos suplementares para uma melhor caracterização das fontes de ruído.

Durante as medições, preservou-se a homogeneidade das distâncias entre os pontos de medição, havendo translações somente em pontos com obstáculos físicos, como edificações, vegetação densa e lagos.

Figura 17 – Pontos de medição



Fonte: Autor

As medições foram realizadas em condição de pista seca, ou seja, após uma eventual precipitação, as medições somente eram retomadas após um período de três dias. Esta decisão foi tomada pois o tempo hábil para a realização das medições era de trinta dias. As medições foram iniciadas no dia 09/11/2015 e foram finalizadas no dia 25/11/2015, totalizando 55 pontos de medição. Não foram realizadas medições em finais de semana e feriados.

Os horários de medição foram definidos com o objetivo de refletir as situações sonoras presentes no Campus. Na Avenida Unisinos e nas vias internas, optou-se por horários de medição em que o tráfego se apresentava mais fluido e contínuo.

Na Figura 18, são apresentados alguns dos pontos de medição, localizados nas áreas centrais do Campus, vias e estacionamentos.

Figura 18 – Medições sonoras realizadas em campo



Fonte: Autor

Todos os equipamentos utilizados para as medições em campo atendem as especificações da IEC 60651 e IEC 60804 e são da marca Brüel & Kjaer, sendo eles:

- Analisador sonoro TYPE 2270, configurado para medições em ambientes externos, utilizando o indicador de ruído L_{Aeq} , em 1/3 de oitava e bandas centrais de frequência em 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000 e 5000 Hz;
- Calibrador acústico TYPE 4231, utilizado antes de qualquer medição;
- Microfone TYPE 4189, de ½" e pré-amplificador ZC 0032;
- Programa de auxílio à extração dos dados BZ5503 – Measurement Partner Suite.

Com a finalidade de prevenir os efeitos do vento durante as medições, foi acoplado ao microfone um protetor.

3.3 DEFINIÇÃO DAS GRANDEZAS COLETADAS

3.3.1 Grandezas meteorológicas

A adoção do método de cálculo Francês NMPB–Routes–96, recomendado pela Comunidade Europeia, implica na inserção de parâmetros meteorológicos em seus cálculos. Deve-se considerar o regime de ventos dominantes, temperatura e umidade média anual, em termos de frequência de ocorrência e de condições de propagação, seja favorável ou homogênea. No entanto, na ausência de tais dados, a Agência Portuguesa do Ambiente (2011) recomenda a utilização das seguintes porcentagens de ocorrência média anual de condições meteorológicas favoráveis à propagação do ruído: período diurno 50%; período entardecer 75%; e período noturno 100%. Isto equivale a opção default do método utilizado (Figura 19).

Figura 19 – Parâmetros meteorológicos de cálculo inseridos no CadnaA

Percentage of 'favorable conditions'		(default)																	
		20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°
Day:		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Evening:		75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Night:		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Evening Values = Day Values

OK Cancel Help

Fonte: Autor

Durante o período de realização das medições de níveis de pressão sonora em campo, também foram coletados dados referentes às condições climáticas como: umidade, temperatura e velocidade do vento.

3.3.2 Grandezas acústicas

As medições dos níveis de pressão sonora foram realizadas de forma contínua, seguindo as especificações propostas pela ABNT NBR 10.151:2000. A norma brasileira não especifica um tempo mínimo de duração das medições, somente especifica que a duração da medição deve ser suficiente para descrever os eventos de som sob investigação. Na literatura, existem diversos trabalhos com diferentes tempos de medição para investigação de ruído rodoviário que variam entre 3 e 15 minutos: 3 minutos (ZANNIN et al., 2013), 5 minutos (PINTO; MARDONES, 2009; GIUNTA, 2013) 10 minutos (NARDI, 2008; ENGEL, 2012), 15 minutos (YOZA et al., 2007). Murgel (2007) e Mendonça et al. (2012) afirmam que em vias de tráfego intenso, o período de 5 a 10 minutos de amostragem é suficiente para a representatividade dos resultados. Zanin et al. (2013), compararam os resultados de medições em campo com três diferentes durações: 3, 5 e 60 minutos. Para um mesmo ponto, os autores identificaram uma diferença máxima de 2,2 dB(A) entre os períodos de amostragem de 3 minutos e 60 minutos.

Neste trabalho adotou-se um tempo de medição de 15 minutos. A escolha deste tempo de amostragem foi baseada nos estudos acima e também no estudo de Romeu et al. (2011). Nele, os autores constataram que para um período de amostragem entre 10 e 60 minutos, a amostragem de 15 minutos mostrou-se confiável, pois apresentou um erro máximo de 2 dB(A).

3.3.3 Grandezas de tráfego

Como visto anteriormente, a Avenida Unisinos desempenha um importante papel de ligação entre os principais pontos de acesso ao Campus. Mais do que isto, a avenida liga dois importantes eixos de transporte para a cidade de São Leopoldo, sendo a BR 116 e o terminal de trem, operado pela Trensurb. Classificada como Via Estrutural nível III, a Avenida Unisinos apresenta um fluxo de veículos, em dias úteis, durante o período letivo, acima de 8000 veículos por dia.

De acordo com a APA (2011), na elaboração de mapas estratégicos municipais de ruído, as rodovias cujo tráfego médio diário anual (TDMA) com fluxo de veículo superior a 8000, devem ser inclusas como fontes de ruído, bem como as demais vias que confluem com estes eixos. Neste contexto, a Avenida Unisinos também

desempenha um importante papel para a caracterização do ruído às proximidades do Campus.

No âmbito das pesquisas nacionais, a caracterização do tráfego viário para elaboração de mapas de ruído é, via de regra, realizada juntamente com os registros de pressão sonora coletados em campo. Como visto no item 3.3.2, os períodos de medição variam principalmente entre 3 min e 15 min. Nestes casos, é realizado o registro manual do fluxo de veículos (leves, pesados e motocicletas) para este período e, em seguida, é realizada a extrapolação para um período de uma hora. No CadnaA e demais programas de predição acústica, este é o período para configuração do fluxo de veículos. Adota-se este método, devido à dificuldade de medições de longa duração, as quais demandariam uma equipe de trabalho numerosa e de alto custo, principalmente em mapeamentos de grandes áreas.

Nesta esfera, as medições para esta pesquisa, seriam para um período de 15 minutos. No entanto, desde dezembro de 2014, na Avenida Unisinos, estão instalados controladores eletrônicos de velocidade do tipo SMTD (Sistema de Monitoramento de Trânsito Digital), tanto no sentido BR 116 – Trensurb, como no sentido Trensurb – BR 116. Estes equipamentos são utilizados como alternativa mitigadora de acidentes e, contam com um eficiente sistema de registros de veículos e de velocidade. Além da identificação de atividades infratoras, tais equipamentos também podem ser utilizados como importante ferramenta de controle e planejamento de tráfego. Como o monitoramento é realizado todos os dias, 24 horas por dia, pode-se identificar e caracterizar a composição de veículos que trafegam na Avenida Unisinos para qualquer período desejado.

Neste contexto, os dados utilizados para configuração das estradas no CadnaA, são provenientes da contagem realizada pelos controladores eletrônicos (Figura 20).

Figura 20 - Controlador sentido BR 116–Trensurb (a) e sentido Trensurb–BR 116 (b)



(a)

(b)

Fonte: Autor

Classificados de acordo com o porte, os veículos são diferenciados em veículos leves, médios, pesados, motocicletas e indeterminados. A detecção e classificação dos veículos ocorre através de sensores do tipo laço indutivo, instalados na pista, no sentido do tráfego, com uma distância de 4 m entre laços. Quando o veículo passa sobre os laços indutivos, são gerados perfis magnéticos, que variam de acordo com a massa metálica de cada veículo. Através destes perfis, é possível calcular a velocidade do veículo e o porte do mesmo.

Na cidade de São Leopoldo, o gerenciamento dos dados coletados pelos controladores eletrônicos é feito pela Guarda Civil Municipal (GCM). Os dados disponibilizados pela GCM, são acessados através de sistema próprio, com diferentes opções de apresentação dos registros. Para a presente pesquisa, foram utilizados dados da estatística por porte de veículo, referentes ao mês de novembro de 2015, com exclusão de feriados, sábados e domingos.

Na estatística por porte de veículo, são apresentados os registros por hora, para cada tipo de veículo. Na Tabela 6, é demonstrado um exemplo de registros do aparelho instalado na Avenida Unisinos, no sentido BR 116 – Trensurb, no dia 11 de novembro de 2015.

Tabela 6 – Estatística por porte de veículos (11/11/2015)

Hora	Leve	Médio	Pesado	Motocicleta	Indeterminado	Total
00h - 01h	52	4	6	0	0	62
01h - 02h	20	4	4	3	0	31
02h - 03h	13	1	2	0	0	16
03h - 04h	5	0	0	1	0	6
04h - 05h	7	1	3	1	0	12
05h - 06h	26	2	10	1	0	39
06h - 07h	148	17	29	25	0	219
07h - 08h	419	33	69	44	0	565
08h - 09h	517	48	96	36	0	697
09h - 10h	346	27	51	26	0	450
10h - 11h	291	32	48	29	0	400
11h - 12h	351	29	57	36	0	473
12h - 13h	339	24	38	27	0	428
13h - 14h	488	64	88	46	0	686
14h - 15h	358	32	51	43	0	484
15h - 16h	333	40	58	33	0	464
16h - 17h	378	39	66	37	0	520
17h - 18h	722	61	96	66	0	945
18h - 19h	706	66	125	74	0	971
19h - 20h	607	60	156	76	0	899
20h - 21h	277	13	30	20	0	340
21h - 22h	413	20	51	38	0	522
22h - 23h	439	32	83	42	0	596
23h - 00h	119	6	15	10	0	150
Total	7374	655	1232	714	0	9975

Fonte: GCM (2015)

Através destes registros, calculou-se o fluxo médio de veículos por porte, para cada período (dia, entardecer e noite) para todo o mês de novembro.

Para as vias internas do Campus, a quantificação dos veículos ingressantes foi realizada utilizando-se as cancelas de acesso ao mesmo. Os dados foram disponibilizados pela empresa prestadora de serviços de estacionamentos Safepark. As cancelas registram a entrada e saída de veículos, no entanto, não os classifica como os controladores.

Neste caso, utilizou-se a mesma proporção de veículos pesados do controlador instalado na avenida, no sentido BR 116 – Trensurb, uma vez que o acesso dos ônibus ocorre após a passagem do mesmo. Assim como na avenida, através dos registros das cancelas, calculou-se o fluxo médio de veículos por porte, para cada período (dia, entardecer e noite) para todo o mês de novembro. Cabe ressaltar que, o fluxo de

veículos pesados que trafegam na avenida e nas vias internas do Campus é formado, principalmente, por ônibus de estudantes e ônibus da linha circular.

Não menos importante, a velocidade dos veículos também deve ser determinada para os cálculos do CadnaA. Como visto anteriormente, tais equipamentos registram também a velocidade de cada veículo que trafega pela via controlada. A GCM também disponibilizou estes dados, no entanto, optou-se pela determinação da velocidade média através da condução de um veículo, acompanhando o fluxo, nas vias avaliadas.

3.3.4 Grandezas geométricas

Procedimento fundamental para a posterior modelagem do Campus, foram coletados dados para a caracterização física do mesmo. Para isso, fez-se um levantamento espacial do ambiente construído. Foram levados em consideração as seguintes características: tipo de pavimento para as vias e estacionamentos; largura das vias e passeio; direção do fluxo; aclives e declives; topografia; vegetação; tipo de solo; corpos d'água, geometria das edificações e suas respectivas alturas.

Disponibilizado pela engenharia Cartográfica da Universidade, o levantamento topográfico do Campus apresenta uma resolução de curvas de nível com equidistância vertical de 1 m. A geometria de edificações, vegetações, lagos e estacionamentos também foi disponibilizada pela universidade através de um mapa base em CAD. O arquivo foi criado juntamente com o levantamento topográfico no ano de 2014.

A Figura 21, ilustra as áreas de vegetação consideradas como densas, corpos d'água e estacionamentos que compõem o ambiente de propagação sonora no Campus.

Figura 21 – Vegetação densa, lagos e estacionamentos

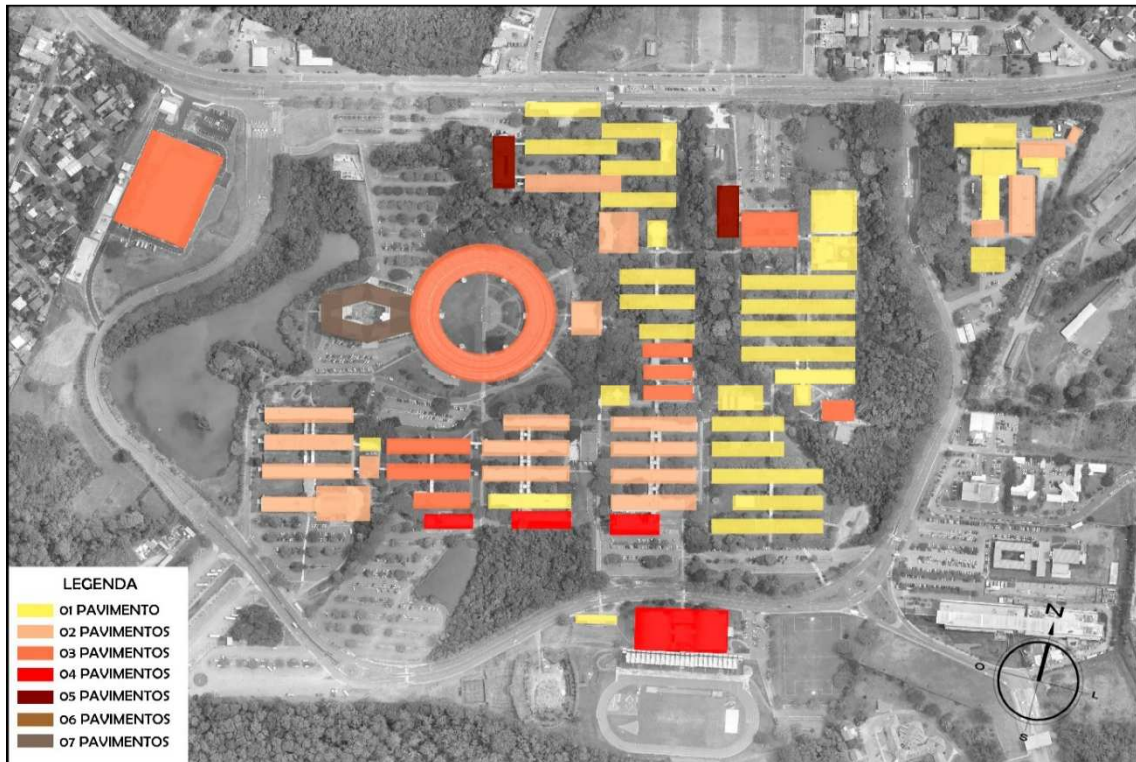


Fonte: Autor

Após a definição de tais limites, fez-se a quantificação em planta dos mesmos, a fim de demonstrar as características peculiares do Campus avaliado. A área selecionada para cálculo é de 844.893 m², que compreende a área do Campus, estendendo-se até o entorno da universidade. As áreas de vegetação densa e lagos são de 105.928 m² e 28.940 m² respectivamente e, por fim, a área de edificações é de 95.487 m².

A Figura 22, ilustra as áreas construídas do Campus e suas respectivas alturas. As alturas das edificações foram disponibilizadas pelo setor de manutenção e infraestrutura da universidade, e o número de vagas por estacionamento foi disponibilizado pela empresa prestadora de serviços de estacionamentos.

Figura 22 – Altura das edificações



Fonte: Autor

Com a definição geométrica de todas as áreas de interesse, os eixos das vias foram adicionados ao arquivo CAD. Em um arquivo contendo curvas de nível, imagem de alta resolução do Campus e demais geometrias, as vias foram lançadas sobre as curvas de nível. Apesar do CadnaA apresentar a ferramenta que possibilita a adequação da via ao relevo presente, optou-se por este procedimento a fim de preservar as condições reais entre via e terreno.

3.4 PARÂMETROS DE CÁLCULO

Nesta etapa, serão apresentados os parâmetros de cálculo utilizados para a configuração dos 13 modelos avaliados. Salienta-se que, os valores atribuídos aos respectivos parâmetros apresentados neste item, são utilizados no modelo final, validado frente aos registros de campo.

Para isso, levou-se em consideração algumas características não tão típicas de centros urbanos. O Campus da universidade apresenta grandes áreas de vegetação, assim como grandes distâncias de propagação sonora em espaços abertos. A principal fonte geradora de ruído rodoviário presente é a Avenida Unisinos, confluindo com a mesma, a principal via interna ao Campus distancia-se da avenida, podendo

chegar a 706 m e, durante esta propagação, o meio é formado por edificações, grandes vegetações, vegetações de pequeno porte, diferentes condições de solo e topografia.

O programa CadnaA foi configurado através da definição dos seguintes parâmetros: método de cálculo; indicador de ruído; absorção do solo; vegetação; absorção de fachadas; malha de cálculo; número de reflexões; altura de cálculo; estradas e estacionamentos.

3.4.1 Método de cálculo

Para este estudo, utilizou-se o método de cálculo Francês NMPB Routes-96. Este método é recomendado pela Diretiva 2002/49/CE, para os países pertencentes da comunidade Europeia que não dispõem de seus próprios métodos de cálculo para modelagem do ruído rodoviário. Conhecido como Novo Método de Previsão do Ruído de Tráfego, o método conta com um algoritmo de cálculo para o nível sonoro equivalente de longa duração (L_{LT}). Este algoritmo também leva em consideração as condições meteorológicas da área a ser estudada.

De acordo com a NMPB-96, o nível sonoro para um período de longa duração é descrito segundo a Equação 10:

$$L_{LT} = 10 \cdot \log \left[p \cdot 10^{\frac{L_{LF}}{10}} + (1 - p) \cdot 10^{\frac{L_{LH}}{10}} \right] \quad (10)$$

Onde:

p : representa a ocorrência média anual de condições meteorológicas favoráveis à propagação, assumindo valores entre $0 < p < 1$, sendo que, 0 corresponde a uma condição homogênea à propagação e 1 uma condição favorável à propagação;

L_{LF} : representa o nível sonoro para condições meteorológicas favoráveis à propagação do local, segundo a Equação 11:

$$L_{LF} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,F} - A_{dif,F} - A_{ref} \quad (11)$$

L_{LH} = representa o nível sonoro para condições meteorológicas homogêneas à propagação do local, segundo a Equação 12:

$$L_{LH} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,H} - A_{dif,H} - A_{ref} \quad (12)$$

Onde:

LW: é o nível de potência sonora da fonte.

O termo A_x presente nas equações representa as atenuações presentes no meio de propagação entre a fonte geradora até ser interceptada pelo receptor, sendo:

A_{div} : é a atenuação devida à divergência geométrica;

A_{atm} : é a atenuação devida à absorção pelo ar atmosférico;

A_{dif} : é a atenuação devida a difração;

A_{solo} : é a atenuação devida aos efeitos do solo;

A_{ref} : é a atenuação devida à absorção de superfícies verticais (SILVA, 2010).

A potência sonora LW é função da composição do tráfego viário e suas características, como: fluxo, composição e sua velocidade média. Não menos importante, as características do pavimento utilizado também são levadas em consideração através de fatores de correção.

Neste método, somente duas classes de veículos são abordadas, sendo: veículos leves e veículos pesados. No processo de cálculo da potência sonora, ocorre uma simplificação, onde os dados de tráfegos relativos às duas categorias são tratados de forma integrada, ponderando-se o fluxo de veículos pesados através de um fator de equivalência acústica entre veículos leves e veículos pesados.

A potência acústica por metro de faixa rodoviária, com ponderação de veículos pesados é dada pela Equação 13:

$$LW = LW_{VL} + 10 \cdot \log \left(\frac{\text{fluxo} + \text{fluxo} \times \%P \times \frac{EQ - 1}{100}}{V_{50}} \right) - 30 \quad (13)$$

Onde:

LW_{VL} : é o nível de potência sonora emitida por um veículo leve (W);

Fluxo: é o número de veículos por hora por faixa de rodagem;

%P: é o percentual de veículos pesados;

EQ: é a equivalência de veículos pesado/veículos leves. Este fator é dado pelas normas Francesas – NF S.31.085 (AFNOR, 1991, apud SILVA, 2010).

O nível de potência sonora emitida por um veículo considerado leve, com massa inferior a 3.500 kg, é dado pela Equação 14:

$$LW_{VL} = 46 + 30 \cdot \log V_{50} + C \quad (14)$$

Onde:

V_{50} : representa a velocidade do fluxo de veículos leves. Quando a velocidade do fluxo for inferior a 30 km/h, deve-se considerar $V_{50} = 30$.

C : é uma constante que atua em função do fluxo de tráfego, adotando-se:

$C = 0$ para fluxo de tráfego fluído;

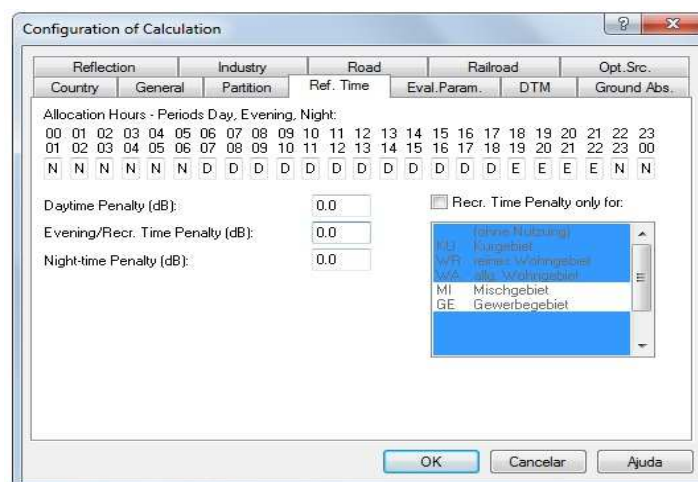
$C = 2$ para fluxo de tráfego interrompido;

$C = 3$ para fluxo de tráfego em aceleração.

3.4.2 Indicador

A emissão do ruído é calculada a partir de dados de tráfego diários, divididos em períodos diurno (6 – 18h) e noturno (22 – 6h). O período diurno é subdividido em dois períodos distintos, sendo: dia (6-18h) e entardecer (18-22h) (DATAKUSTIK, 2015). O indicador de ruído utilizado nos cálculos foi o L_{den} (ruído equivalente dia, entardecer e noite). O período de referência para simulação seguiu as prescrições da diretiva europeia, onde o L_{den} deve compreender o período Dia com duração de 12 horas, o período Entardecer com 4 horas e o período Noite com duração de 8 horas. A opção penalidade oferecida pelo programa e sugerida pela Diretiva Europeia para os períodos Entardecer e Noite foi desconsiderada (Figura 23).

Figura 23 – Período de referência e penalidades inseridas no CadnaA



Fonte: Autor

3.4.3 Absorção do solo

Para uma representação fiel das condições de superfícies do Campus, adotaram-se três diferentes condições de atenuação do solo, levando-se em consideração os parâmetros estabelecidos pela ISO 9613-2.

O programa CadnaA permite a especificação de diferentes índices de absorção de solo em áreas específicas. Através de polígonos, é possível diferenciar solos duros, solos moles, vegetações e corpos d'água a partir do fator de absorção local G. Este fator pode variar de 0 até 1, sendo 0 utilizado para pavimentos, água, gelo, concreto e todas outras superfícies que apresentem baixa porosidade e, 1 para superfícies porosas.

Na configuração de cálculo do programa, para o modelo final, adotou-se os seguintes fatores:

G = 0,5 como absorção padrão para o modelo. Este valor corresponde ao modo default do programa. Utilizou-se este valor devido a grande presença de áreas com vegetação de pequeno porte e gramados;

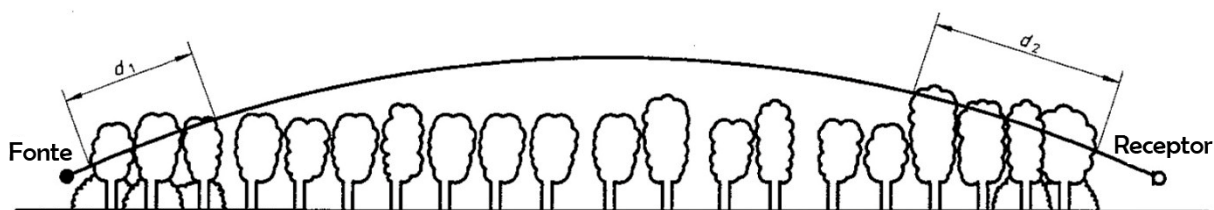
G = 0 para estradas, estacionamentos e corpos d'água;

G = 0,9 para áreas de vegetação densa.

3.4.4 Vegetação

De acordo com a ISO 9613, a folhagem de árvores e pequenos arbustos contribuem pouco para a atenuação do som, em sua trajetória. A contribuição somente ocorrerá em áreas densas, com largura não inferior a 10 m. A mesma norma diz que somente atuarão na atenuação, vegetações que impossibilitem a visão por entre a mesma, em uma curta distância. Esta distância pode ser próxima à fonte, próxima ao receptor ou em ambos os casos, como ilustrado na Figura 24. Das distâncias d_1 e d_2 , resultará a distância d_f , que será utilizada como distância de propagação através da vegetação contribuinte para atenuação (Tabela 7).

Figura 24 – Atenuação devido a propagação através da vegetação



Fonte: Adaptado de ISO 9613

Nota: $df = d1 + d2$ Tabela 7 – Atenuação de uma banda de oitava de ruído devido a propagação de uma distância df através de vegetação densa

Distância de propagação df (m)	Frequência nominal (Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq df \leq 20$	Atenuação, dB:							
	0	0	1	1	1	1	1	1
$20 \leq df \leq 200$	Atenuação, dB/m:							
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

Fonte: Adaptado de ISO 9613-2

Para estes efeitos, o programa CadnaA dispõe da ferramenta “vegetação”, onde através de polígonos, é possível determinar áreas que serão consideradas atenuadoras durante o processo de cálculo. Nesta ferramenta é possível configurar apenas a área e a altura da vegetação. Com a definição da área, o programa calcula automaticamente a distância df e utiliza as atenuações correspondentes em dB. Como exemplo, para uma área de vegetação com 100 m de largura e uma altura de 5 m, resulta em uma atenuação de 3 a 4 dB(A) em relação a mesma configuração de propagação sem a vegetação. Nota-se que, em vegetações com altura inferior a 5 m a atenuação é pouco significativa e acima deste valor a atenuação não muda. Contudo, nestes casos, os resultados são obtidos através de fontes industriais (pontuais, lineares e superficiais) em que os efeitos de atenuação são considerados por bandas de oitava. Já em normas de ruído rodoviário, como a NMPB-96, os valores não são avaliados por bandas de oitavas e sim por valores globais.

Para a mesma área de vegetação do exemplo anterior, substituindo a fonte sonora pontual por uma rodovia hipotética, não há diferença de resultados entre os cenários com e sem vegetação. Com a finalidade de comprovar esta deficiência, foram realizados diversos cenários com diferentes larguras de vegetação e alturas, no entanto, os resultados mantinham-se iguais.

Com o intuito de compensar esta deficiência, o modelo foi calibrado através da ferramenta de absorção do solo, baseando-se nas medições realizadas em campo. Para as áreas de vegetação densa, avaliou-se diferentes fatores de absorção local G e, através de comparação de resultados simulados e medições em campo, balizou-se $G = 0,9$ como o resultado mais coerente para o modelo do Campus.

3.4.5 Absorção de fachadas

Para a superfície das fachadas, foi considerado um coeficiente de absorção $G = 0,37$, ou seja, de acordo com a norma alemã RLS-90 haverá um ganho por reflexão de 2 dB.

3.4.6 Malha de cálculo

De acordo com a WG-AEN (2006) dependendo do contexto e do tamanho da área de avaliação, os mapas podem ser elaborados em dois estágios, sendo o primeiro, com uma malha mais grosseira para a identificação de áreas de interesse e conflitos, geralmente 30 x 30 m, e o segundo estágio utiliza-se uma resolução mais elevada, normalmente de 10 x 10 m. A APA (2011) recomenda a utilização de uma malha não superior a 20 x 20 m para planos diretores municipais e não superior a 10 x 10 m para áreas de interesses específicas. Para a escala do presente trabalho, levou-se em consideração as recomendações da APA, adotando-se uma malha de 5 x 5 m.

3.4.7 Número de reflexões

Seguindo o mesmo contexto e escala de trabalho, adotou-se o número de reflexões indicado pela APA (2011) para áreas de interesse, recomendando, no mínimo, a segunda ordem de reflexões. O programa foi configurado com ordem de reflexão igual a 2.

3.4.8 Altura de cálculo

Apesar da Diretiva Europeia estipular altura de cálculo dos indicadores de 4 m a partir do solo, adotou-se a altura de 1,5 m para o presente trabalho, pois a validação

dos resultados é realizada através da diferença entre o método de simulação e o método de observação, realizado em campo, em medições realizadas a 1,5 m. Este procedimento também foi adotado no trabalho realizado por Ventura (2012).

3.4.9 Estradas

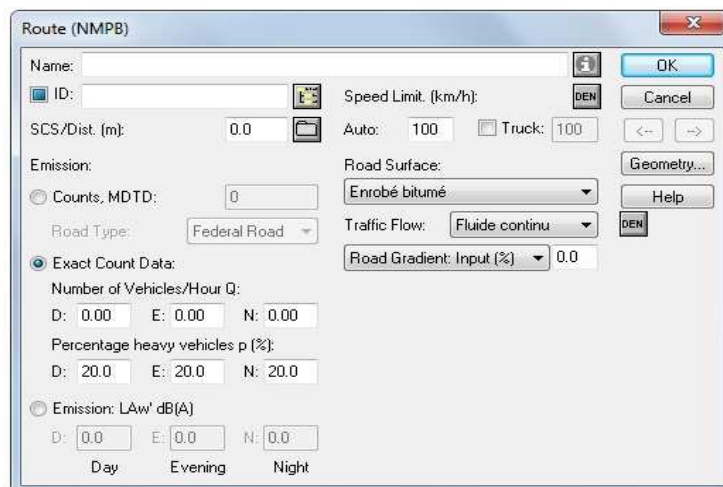
Nesta etapa, são inseridos os dados necessários para a modelagem dos Níveis de Pressão Sonora provenientes das estradas avaliadas. A emissão sonora pode ser dada através da inserção de resultados de medições coletadas em campo, que resultam em L_{Aeq} , ou através de um estudo de tráfego.

Para o presente trabalho, foram inseridos dados referentes ao fluxo de veículos por hora, separados em duas classes, sendo: leves e pesados. Como visto no método de cálculo, há uma simplificação através de um fator de equivalência entre veículos leves e pesados, no entanto, para motocicletas, o programa não dispõe de um campo específico para as mesmas.

Giunta (2013), avaliou a sensibilidade do programa a diferentes variáveis de entrada e, no quesito motocicletas, evidenciou uma tendência de resultados, onde os níveis de emissão sonora são maiores quando as motocicletas são quantificadas juntamente aos veículos pesados. Neste contexto, o modelo foi calibrado, através dos resultados obtidos em campo, de modo que o modelo não superestime os níveis equivalentes de pressão sonora presentes no Campus. As motocicletas foram classificadas e inseridas no programa como veículos leves. Este mesmo método foi utilizado para classificar os veículos médios, registrados pelos controladores eletrônicos, para inserção no programa. Desta forma, os mesmos também foram classificados como veículos leves.

A Figura 25 mostra a caixa de diálogo para configuração das rodovias.

Figura 25 – Caixa de configuração para rodovias do CadnaA



Fonte: Autor

Nesta caixa de diálogo são inseridos dados referentes ao perfil transversal da via; velocidade de veículos leves e pesados; a densidade de tráfego, seja através de um valor global para um período de 24 horas ou por dados discriminados por períodos; o tipo de superfície; tipos de tráfego (fluído, interrompido ou acelerado); a direção do fluxo de veículos e níveis de emissão sonora.

Os dados de tráfego foram inseridos de forma detalhada por período, assim como a porcentagem de veículos pesados.

3.4.10 Estacionamentos

No CadnaA, a emissão sonora de estacionamentos pode ser calculada de acordo com as seguintes normas:

- Norma Alemã (RLS-90);
- Estudo sobre emissão em estacionamento realizado pela Agência Ambiental da Bavaria (LfU 1993, 1995, 2003 e 2007);
- Norma Suíça SN 640 578:2006-07.

Para cálculos de acordo com a RLS-90, SN 640 758 e LfU 1993, 1995 e 2003, o principal parâmetro de entrada associado à emissão sonora é o número de vagas disponíveis por estacionamento. Para a LfU 2007, além do número de vagas, a área do estacionamento também é considerada em sua equação de emissão, assim como a possibilidade de definição de penalidades referente a diferentes tipos de pavimentação.

Ambas as normas podem ser alimentadas com dados referentes a emissão sonora coletadas em campo ou através da rotatividade/frequência dos veículos nos estacionamentos, através de um índice de acessos/vaga/hora.

Nesta etapa, foram gerados modelos de mapas, de mesmo índice de rotatividade para as três diferentes opções de normas. Ao passo que cada modelo apresentou diferentes resultados, optou-se pela calibração do mesmo, baseando-se nos resultados obtidos através das medições realizadas em campo. Neste contexto, a norma escolhida para cálculo dos modelos, foi a LfU 2007, apresentando resultados mais próximos do cenário registrado em campo e também por se tratar de um método mais recente. A norma calcula o nível de potência sonora por área de estacionamento PWL através da Equação 15:

$$PWL = PWL_0 + K_{PA} + K_I + K_D + K_{Str0} + 10 \cdot \log(B \cdot N) - 10 \cdot \log\left(\frac{S}{1m^2}\right) \quad (15)$$

Onde:

$PWL_0 = 63 \text{ dB(A)}$, nível de potência sonora inicial para um movimento/hora;

K_{PA} : penalidade para o tipo de estacionamento (estacionamento de automóveis, veículos pesados, motocicletas, áreas comerciais, entre outros);

K_I : penalidade para ruído impulsivo;

K_D : correção de busca e passagem de veículos;

K_{Str0} : penalidade devido ao tipo de pavimento;

B : número de quantidades de referência;

N : frequência de movimentos (movimentos por quantidade de referência e hora);

S : área parcial ou total de estacionamento.

3.5 MODELAGEM DO CAMPUS

A modelagem do Campus consiste na construção de um modelo geométrico baseado nas informações coletadas no item 3.3.4.

A partir de um arquivo geral de dados, Figura 26, com curvas de nível, estradas, definição de áreas de cálculo, vegetação densa, corpos d'água e locação dos pontos receptores, foram gerados arquivos fracionados, com extensão do tipo (*.dxf) de importação para o CadnaA.

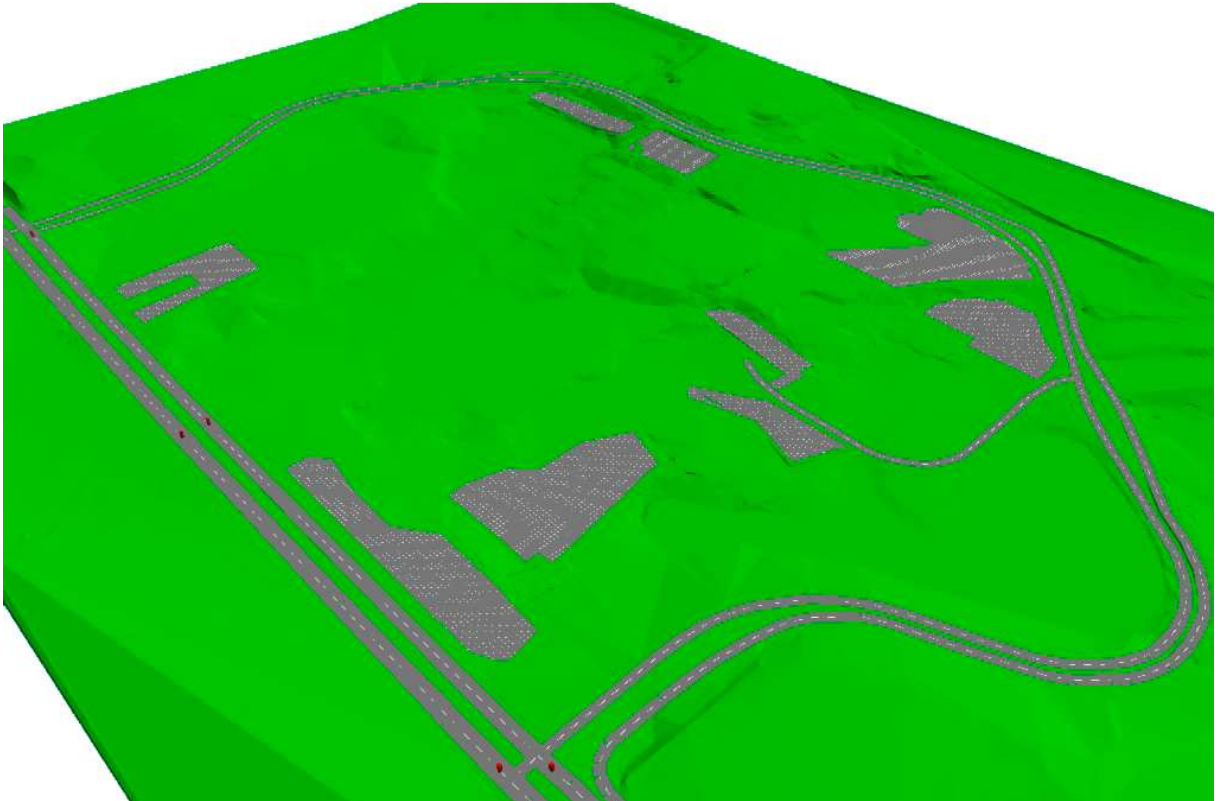
Figura 26 – Arquivo de importação completo



Fonte: Autor

Primeiramente, foram importadas as curvas de nível, os eixos das estradas e os estacionamentos (Figura 27).

Figura 27 – Modelo digital do terreno, estradas e estacionamentos

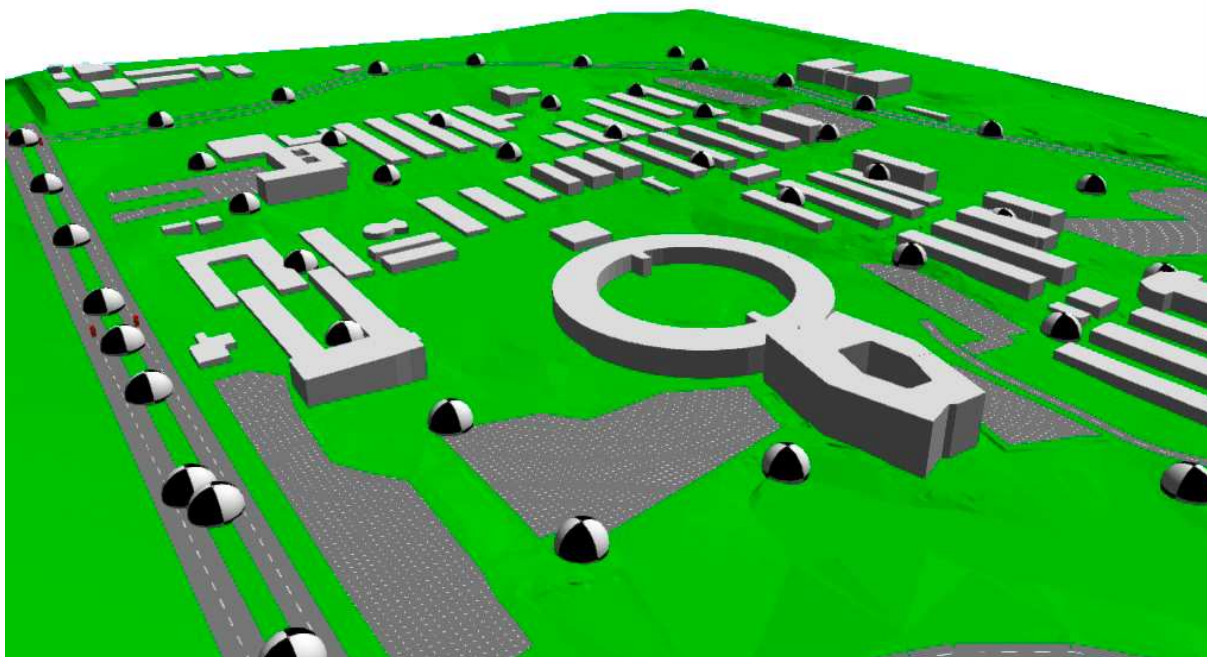


Fonte: Autor

Com exceção das curvas de nível, todos os elementos são tratados em 2D antes da importação. Durante o processo de importação, o CadnaA permite que os elementos importados recebam especificações, ao passo que, as curvas de nível geram o terreno avaliado, os elementos importados posteriormente o terão como nível altimétrico de referência.

Na etapa seguinte, foram importados os polígonos referentes as edificações, vegetação densa, corpos d'água e a locação dos pontos receptores (Figura 28). Após importação é possível atribuir as especificações conforme descrito em 3.4.

Figura 28 – Modelo 3D da área de estudo



Fonte: Autor

As áreas de vegetação e corpos d'água não são visíveis no modelo 3D, elas são representadas apenas por polígonos, que através da concordância com o terreno, modificam a atenuação em suas demarcações.

3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação ou calibração do modelo consiste na comparação dos resultados medidos por pontos receptores, no modelo computacional, com as medições realizadas em campo.

Na literatura, existem diferentes valores de aceitação para validação do modelo. Para a APA (2011), a validação do modelo deve ocorrer através de medições de longa duração, de pelo menos, 2 dias contínuos, em pontos estratégicos da área avaliada, validando-se valores na faixa de diferença entre ± 2 dB(A). Menos restritivas, as incertezas esperadas para a aceitação dos modelos em centros urbanos, de acordo com WG3 (2001) e WG-AEN (2006) são de ± 4 dB(A) e ± 5 dB(A) respectivamente.

Segundo a APA (2011), na seleção dos pontos para a validação de longa duração, deve-se atentar para a escolha de locais com predominância de apenas uma fonte de ruído e que os níveis de ruídos estejam acima dos limites regulamentares. Neste sentido, deve-se optar por pontos de medição em locais mais desfavoráveis.

Como visto no item 3.2, os pontos selecionados para a validação do modelo estão distribuídos por toda a área do Campus, ou seja, com pontos bastante próximos às fontes de ruído e pontos distantes das mesmas. Neste sentido, optou-se pela utilização da malha de medição, ampliando o número de pontos de validação, em função do método de cálculo utilizado pelo CadnaA, que também consiste em uma malha, como visto no item 3.4.6. Além disso, medições de longa duração exigem uma equipe mais numerosa e maior disponibilidade de equipamentos de medição.

Através deste método, espera-se verificar uma maior aproximação entre os resultados experimentais e medidos nos pontos próximos a Avenida Unisinos e vias internas, em função do critério de fluxo contínuo de veículos durante o período de medição. Para os demais pontos, foi possível verificar o comportamento de redução de nível de pressão sonora equivalente dos modelos, à medida que a distância da fonte aumenta.

Para esta validação, via de regra, geram-se diversos mapas, com diferentes configurações e diversos resultados de saída. Neste contexto, os modelos podem ser validados através de ajustes progressivos, pois dependendo da complexidade dos mesmos, pode-se gerar vários mapas em um período de tempo relativamente curto.

Para a presente pesquisa, foram realizadas diversas simulações, dentre as quais, foram selecionados 13 modelos, divididos em 5 análises, que marcam importantes mudanças nos resultados de saída das simulações.

Reitera-se que, o período de avaliação para cada um dos 55 pontos distribuídos no Campus, foi de 15 min.

Na Tabela 8, são apresentados dados de entrada para criação dos modelos.

Tabela 8 – Dados de entrada utilizados no CadnaA

Análise	Modelo	Grid (m)	Áreas de absorção (G)			Vegetação	Perda por reflexão (dB)	Ordem de reflexão	Meteorologia	Indicador
			Solo	Lagos	Vegetação					
1	1	10x10	0,50	-	-	-	0,00	1,00	default	Lden
	2	10x10	0,50	-	-	-	2,00	1,00	default	Lden
	3	10x10	0,50	-	-	Sim	2,00	1,00	default	Lden
2	4	10x10	0,50	0,10	1,00	-	2,00	1,00	default	Lden
	5	10x10	0,75	0,10	1,00	-	2,00	1,00	default	Lden
	6	10x10	0,85	0,10	1,00	-	2,00	1,00	default	Lden
3	6	10x10	0,85	0,10	1,00	-	2,00	1,00	default	Lden
	7	10x10	0,85	0,10	1,00	-	2,00	1,00	favorável	Lden
	8	10x10	0,85	0,10	1,00	-	2,00	1,00	homogêneo	Lden
4	9	10x10	0,50	0,00	0,90	-	2,00	1,00	default	Lden
	10	10x10	0,50	0,00	0,50	-	2,00	1,00	default	Lden
	11	10x10	0,50	0,00	1,00	-	2,00	1,00	default	Lden
5	9	10x10	0,50	0,00	0,90	-	2,00	1,00	default	Lden
	12	10x10	0,50	0,00	0,90	-	2,00	2,00	default	Lden
	13	5x5	0,50	0,00	0,90	-	2,00	2,00	default	Lden

Fonte: Autor

Nestas simulações, foram alterados parâmetros de entrada para configuração de cálculo dos mapas. Tais parâmetros podem ser ajustados ou calibrados de acordo com os resultados das medições de campo, permitindo a compatibilização do modelo simulado com o cenário avaliado. Deve-se atentar que, tal calibração não deve ser utilizada, exclusivamente, com o intuito de aproximar os resultados obtidos nas simulações com as medições registradas em campo, mas também, reproduzir fielmente o cenário de propagação sonora.

Complementando as informações descritas na Tabela 4, ressalta-se que, estradas e estacionamentos de todos os mapas estão configurados como elementos refletoras, ou seja, G é igual a 0. Também pode-se fazer os seguintes comentários referente às análises:

- Análise 1: foram avaliados três modelos iniciais, após validação do modelo geométrico, com variação da perda de reflexão das fachadas das edificações e a utilização da ferramenta “vegetação”. Esta análise marcou o início da calibração do modelo, utilizando-se a ferramenta “absorção do solo”

em virtude dos resultados prévios utilizando-se a ferramenta “vegetação”, conforme descrito no item 3.4.4;

- Análise 2: nesta análise, foram avaliadas as respostas do modelo frente a diferentes índices gerais de absorção do solo. Definiu-se áreas distintas de absorção para lagos e vegetação densa, simulando-as como superfícies reflexivas e de grande absorção;
- Análise 3: partindo do modelo 6, avaliou-se três diferentes condições meteorológicas (default, favorável e homogênea), verificando-se o comportamento dos mapas frente a tais configurações;
- Análise 4: nesta análise, foram avaliados diferentes parâmetros de absorção para as áreas de vegetação densa. Fixou-se a absorção geral do modelo e dos lagos. No modelo 10, a norma para cálculo utilizada nas emissões sonoras dos estacionamentos foi alterada. Todos os modelos estão configurados para cálculo de acordo com a LfU 2007, no entanto, neste modelo, fez-se uso da norma alemã RLS-90;
- Análise 5: a partir do modelo 9, avaliado na análise 4, foram validados parâmetros físicos do modelo, como o índice de absorção geral do solo, áreas de vegetação densa e lagos. Nesta análise, alterou-se o número de reflexões consideradas nos cálculos, bem como a alteração das dimensões do grid.

Após a comparação entre os modelos, fez-se a validação da configuração que apresentou melhor compatibilidade com o cenário do Campus. Este modelo é caracterizado pelo fluxo de tráfego registrado na Avenida Unisinos e nas vias internas ao Campus, através de controladores eletrônicos e cancelas eletrônicas de acesso ao mesmo.

A partir do modelo validado para a situação de tráfego do mês de novembro, foi gerado um novo modelo para a situação de tráfego do mês de agosto. Neste mês, é registrado o maior fluxo de veículos para o período letivo de inverno da universidade.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, serão expostos os resultados das análises de validação realizadas no item 3.6. Primeiramente, o contexto acústico do Campus será apresentado através dos registros de níveis de pressão sonora coletados em campo. Após, será apresentado o comparativo dos modelos, de acordo com as análises. Em seguida, através de mapas, os modelos serão comparados e, por fim, será exposto um comparativo geral entre os 13 modelos e a apresentação do mapa final para o mês de novembro e o mapa simulado para a situação de tráfego do mês de agosto.

4.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM CAMPO

Na Tabela 9, são expostos os resultados das medições realizadas em campo, no mês de novembro de 2015. Estes valores são utilizados como referência para a validação dos modelos simulados.

Tabela 9 – Resultados das medições em campo

Ponto de medição	LAeq [dB(A)]	Ponto de medição	LAeq [dB(A)]
1	72,6	29	60,6
2	71,6	30	49,0
3	69,1	31	51,0
4	74,1	32	47,4
5	70,4	33	47,9
6	72,3	34	50,0
7	71,2	35	47,7
8	74,1	36	65,5
9	73,5	37	60,6
10	70,9	38	55,7
11	63,9	39	47,6
12	58,2	40	44,1
13	51,4	41	50,4
14	50,6	42	48,5
15	51,7	43	47,8
16	54,9	44	42,7
17	57,7	45	65,2
18	56,4	46	63,5
19	52,8	47	63,9
20	49,9	48	53,0
21	50,8	49	45,6
22	65,5	50	66,7
23	65,8	51	66,7
24	59,0	52	62,8
25	52,1	53	59,2
26	52,0	54	54,1
27	49,9	55	63,5
28	62,2		

Fonte: Autor

4.2 RESULTADOS E ANÁLISES DAS SIMULAÇÕES

Todos os modelos foram analisados através da comparação da média quadrática das diferenças entre os resultados simulados e os dados registrados em campo, através da correlação entre os mesmos e do desvio padrão das diferenças.

Os resultados serão apresentados por meio de:

- Comparativo entre as medições de campo e os resultados de cálculo;
- Diferença entre os resultados calculados e de campo;
- Apresentação de mapas acústicos;
- Sobreposição dos mesmos.

Primeiramente, será apresentada uma breve análise individual dos modelos, e após, será apresentado o comparativo geral entre os modelos, de cada uma das 5 análises.

Junto à tabela de resultados, serão apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas, bem como as médias positivas e negativas das diferenças. Para a validação dos resultados, foi definida uma diferença de $\pm 4,5$ dB(A) entre os resultados calculados e os dados de campo.

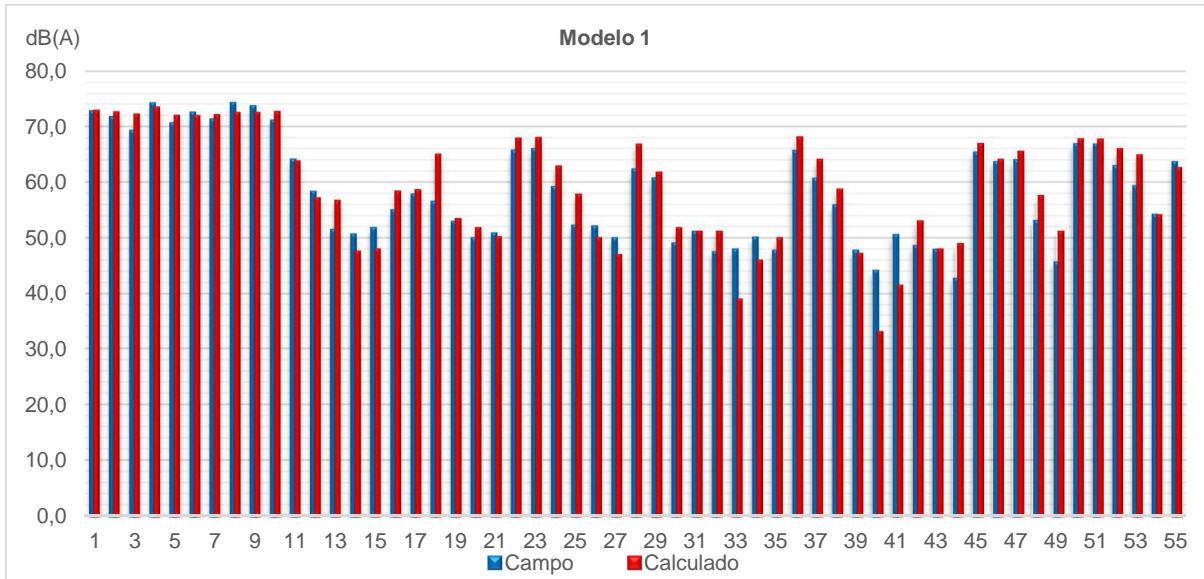
4.2.1 Resultados análise 1

Na análise 1, definiu-se alguns parâmetros iniciais de configuração do modelo após sua validação geométrica. Nesta etapa, foram definidos parâmetros básicos de cálculo com a finalidade de avaliar a resposta do programa a tais configurações. Para isso, foi definido um modelo de referência, com coeficiente geral de absorção do solo e dois modelos com coeficiente de absorção de fachadas, sendo um deles, configurado com áreas de vegetação.

Para o modelo 1, na Figura 29, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 30, a diferença entre os resultados calculados e de campo.

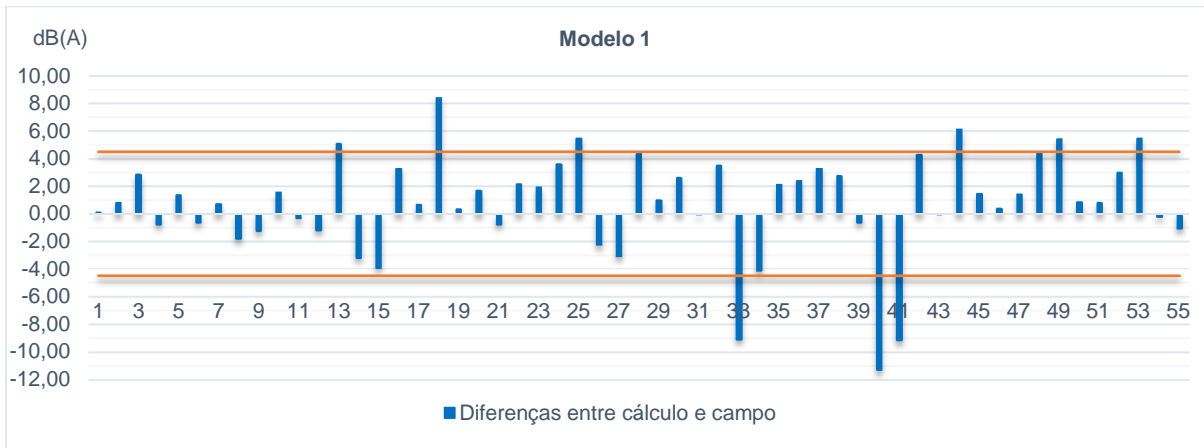
No gráfico das diferenças, também se faz a representação da faixa de diferenças aceitáveis para a validação dos modelos.

Figura 29 – Comparativo modelo 1



Fonte: Autor

Figura 30 – Diferença modelo 1



Fonte: Autor

Em uma análise inicial do modelo 1, nota-se que dos 55 pontos analisados, 35 apresentam diferenças positivas e 20 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 9 pontos acima do limite estabelecido, sendo 6 deles com diferença positiva e 3 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,42 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -11,28 dB(A).

Para o modelo 2, na Figura 31, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 32, a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 31 – Comparativo modelo 2

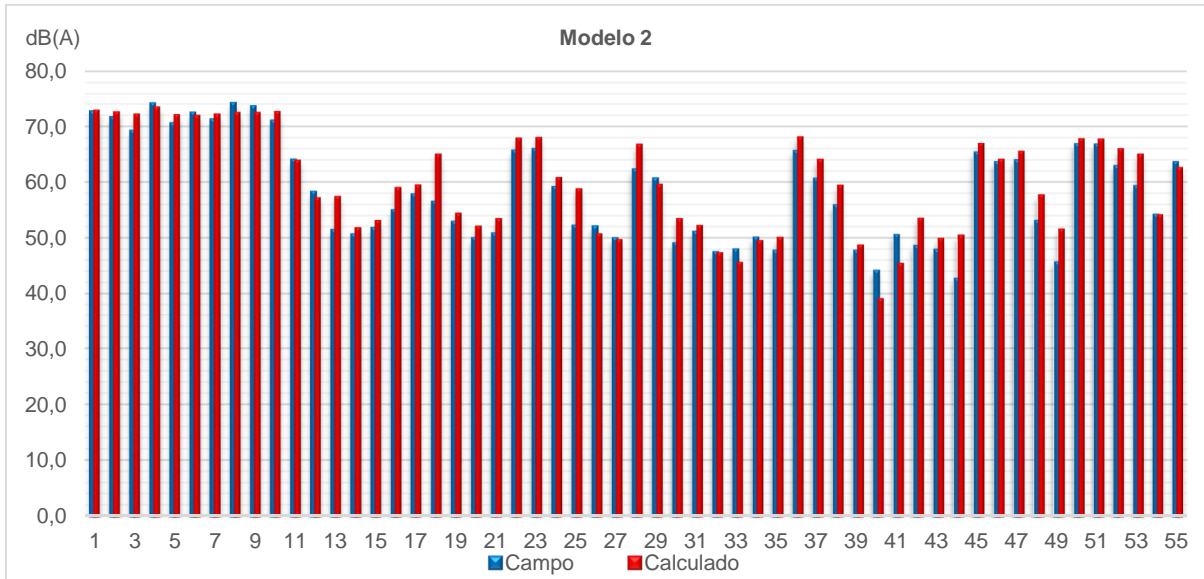
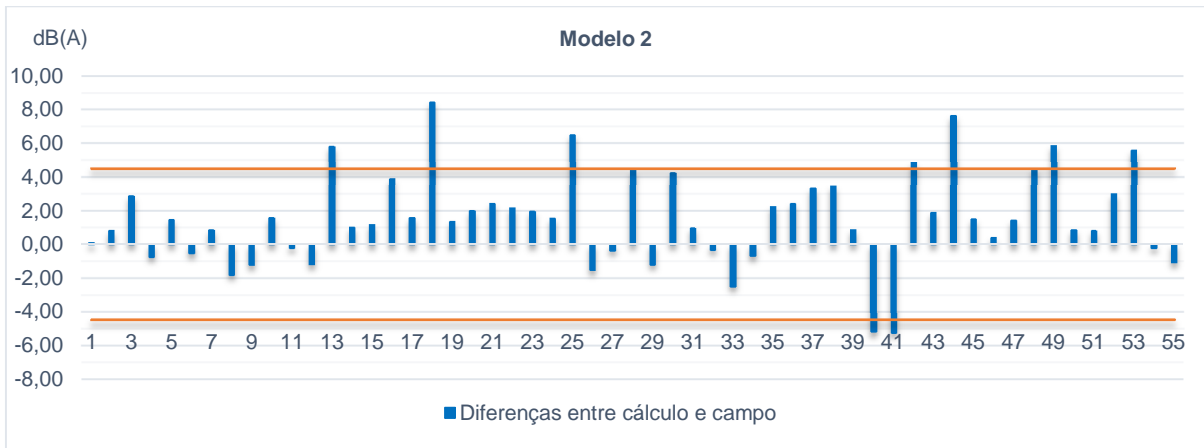


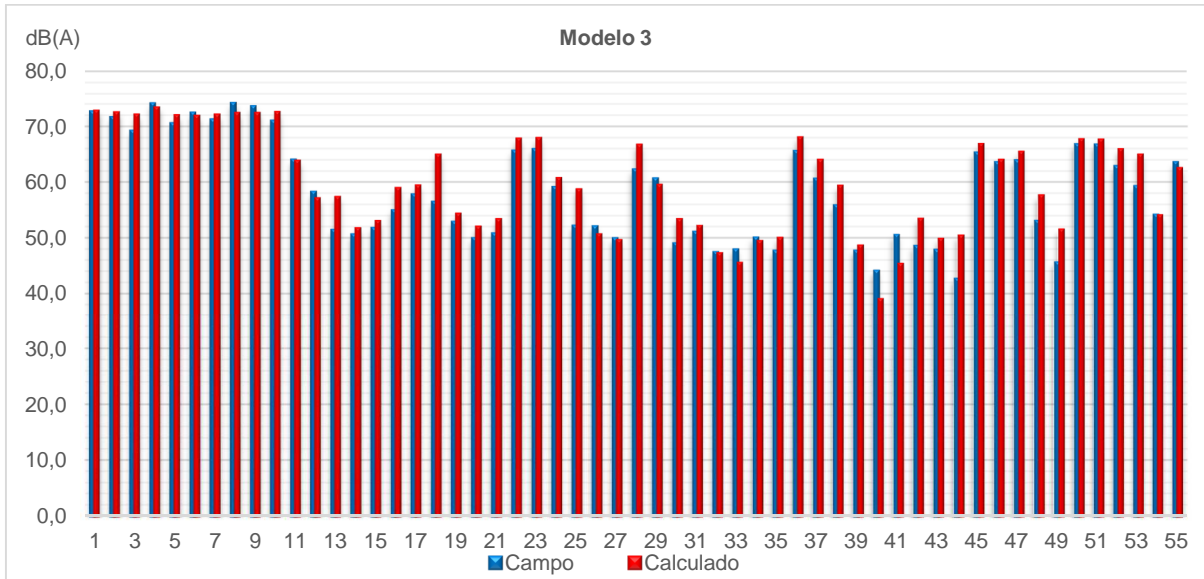
Figura 32 – Diferença modelo 2



Em uma análise inicial do modelo 2, nota-se que dos 55 pontos analisados, 39 apresentam diferenças positivas e 16 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 9 pontos acima do limite estabelecido, sendo 7 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,42 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,24 dB(A).

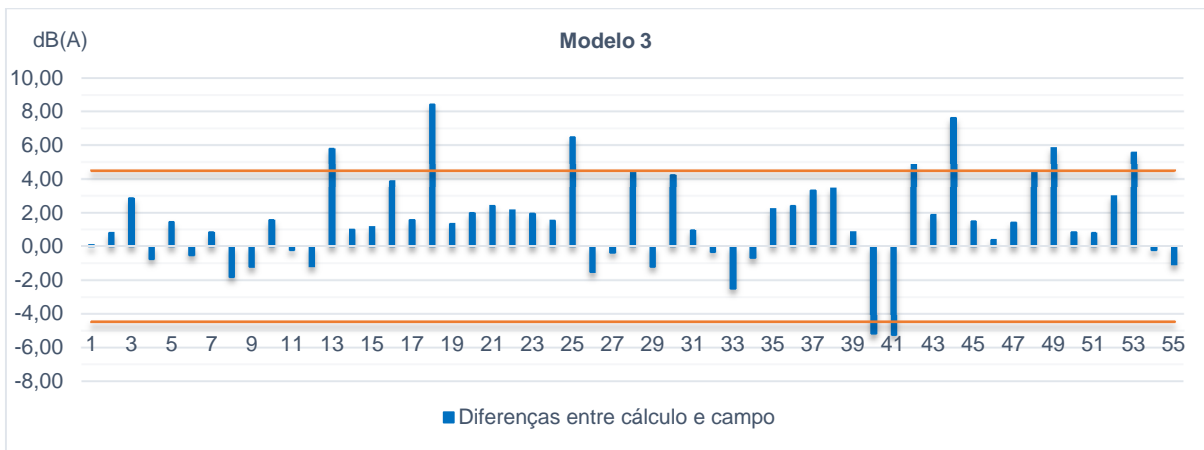
Para o modelo 3, na Figura 33, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 34, a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 33 – Comparativo modelo 3



Fonte: Autor

Figura 34 – Diferença modelo 3



Fonte: Autor

Em uma análise inicial do modelo 3, nota-se que dos 55 pontos analisados, 39 apresentam diferenças positivas e 16 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 9 pontos acima do limite estabelecido, sendo 7 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,42 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,24 dB(A).

Para efeito de comparação entre os modelos gerados, na Tabela 10, são apresentadas as diferenças entre os resultados simulados e de campo, para cada um dos 55 pontos. Os valores que apresentarem diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 10 – Resumo das diferenças análise 1

Pontos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Pontos	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
1	0,12	0,12	0,12	29	1,00	-1,20	-1,20
2	0,84	0,84	0,84	30	2,63	4,23	4,23
3	2,87	2,87	2,87	31	-0,03	0,97	0,97
4	-0,75	-0,75	-0,75	32	3,57	-0,33	-0,33
5	1,37	1,47	1,47	33	-9,09	-2,49	-2,49
6	-0,63	-0,53	-0,53	34	-4,18	-0,68	-0,68
7	0,75	0,85	0,85	35	2,14	2,24	2,24
8	-1,81	-1,81	-1,81	36	2,42	2,42	2,42
9	-1,22	-1,22	-1,22	37	3,34	3,34	3,34
10	1,58	1,58	1,58	38	2,76	3,46	3,46
11	-0,32	-0,22	-0,22	39	-0,63	0,87	0,87
12	-1,19	-1,19	-1,19	40	-11,28	-5,18	-5,18
13	5,09	5,79	5,79	41	-9,14	-5,24	-5,24
14	-3,17	1,03	1,03	42	4,32	4,82	4,82
15	-3,93	1,17	1,17	43	-0,01	1,89	1,89
16	3,31	3,91	3,91	44	6,15	7,65	7,65
17	0,70	1,60	1,60	45	1,49	1,49	1,49
18	8,42	8,42	8,42	46	0,41	0,41	0,41
19	0,36	1,36	1,36	47	1,45	1,45	1,45
20	1,70	2,00	2,00	48	4,40	4,50	4,50
21	-0,77	2,43	2,43	49	5,45	5,85	5,85
22	2,17	2,17	2,17	50	0,88	0,88	0,88
23	1,96	1,96	1,96	51	0,82	0,82	0,82
24	3,66	1,56	1,56	52	3,01	3,01	3,01
25	5,49	6,49	6,49	53	5,49	5,59	5,59
26	-2,22	-1,52	-1,52	54	-0,21	-0,21	-0,21
27	-3,06	-0,36	-0,36	55	-1,06	-1,06	-1,06
28	4,37	4,37	4,37				

Fonte: Autor

A partir dos comparativos e diferenças apresentados, na Tabela 11 são expostos os resultados das análises de validação dos modelos. Também são apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas entre calculado e campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 11 – Resultados análise 1

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
1	1	0,93	3,66	2,75	-11,28	8,42	2,76	-2,74
	2	0,95	2,75	2,40	-5,24	8,42	2,77	-1,50
	3	0,95	2,75	2,40	-5,24	8,42	2,77	-1,50

Fonte: Autor

Em uma análise geral dos modelos, pode-se fazer as seguintes considerações:

Configurado para ser o modelo referencial para esta primeira etapa, o modelo 1 diferenciou-se dos demais em relação às diferenças negativas mais significativas. Sem considerar a reflexão de superfícies dos edifícios, a redução dos níveis de pressão sonora se deu, principalmente, pela perda devido à distância.

No modelo 2, nota-se que as diferenças negativas não são tão acentuadas como no modelo 1. Nos pontos 14, 15, 26, 27, 33 e 34, localizados próximos às edificações, percebe-se facilmente a influência do ganho por reflexão. Nestes pontos, as diferenças negativas apresentaram-se menores e, em alguns pontos, tornaram-se positivas.

No modelo 3, é evidente que a utilização de áreas configuradas como vegetação, não contribuem como elemento atenuante na propagação do ruído no ambiente modelado. Os resultados deste modelo são idênticos aos resultados do modelo 2.

Através da tabela de resumo das diferenças, nota-se que os modelos apresentam um padrão de resultados, ou seja, os resultados acima do limite adotado ocorrem, praticamente, nos mesmos locais do mapa.

Na tabela de resultados da análise 1, percebe-se que apesar do índice de correlação alto, o mesmo não é suficiente para considerações conclusivas. No entanto, os resultados da média das diferenças negativas, diferença máxima negativa e a média quadrática mostraram-se menores nos modelos 2 e 3. Esta redução de diferenças, conseqüentemente, contribuiu para um menor desvio padrão entre os resultados calculados e de campo.

As diferenças positivas ocorrem principalmente nas vias internas ao Campus e em pontos próximos ou dentro de estacionamentos.

No ponto 18, ocorre a diferença máxima positiva em ambos os mapas. Neste ponto, foi registrado o menor valor coletado nas vias internas do Campus, destoando-se dos demais. Isto provavelmente ocorre devido ao baixo fluxo de veículos no momento de medição.

Nos pontos 13, 25, 44 e 49, a maior contribuição para estes elevados níveis calculados, se deve ao ruído proveniente dos estacionamentos. Como descrito no item 3.4.10, foi utilizada a ferramenta “estacionamento” para a modelagem do ruído nos mesmos. Ressalta-se que, os níveis coletados em campo próximos ou mesmo dentro das áreas de estacionamentos estão entre 42,7 dB(A) e 52,1 dB(A), ou seja, são

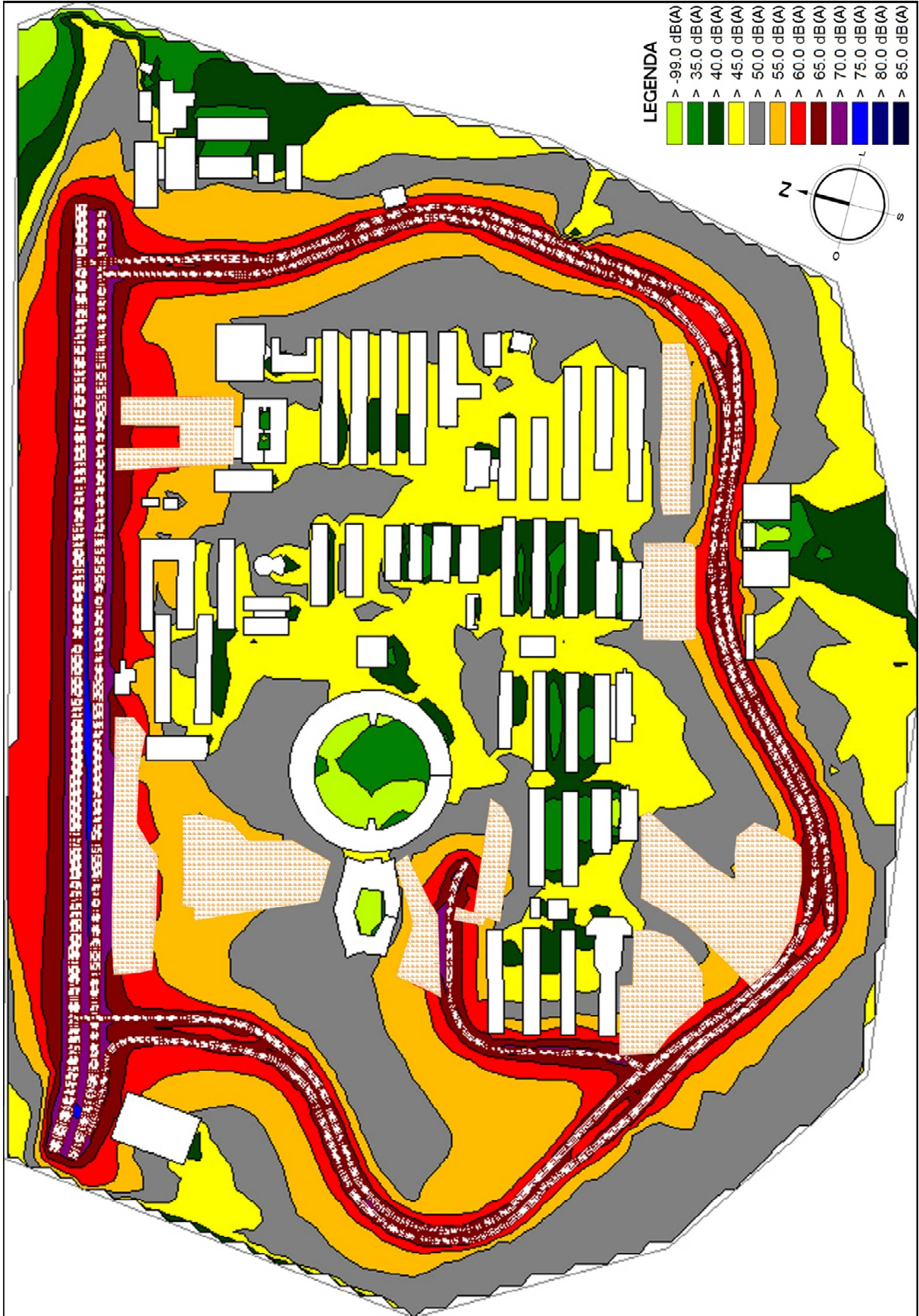
valores relativamente baixos. Neste caso, os valores calculados tendem a superestimar a realidade encontrada durante as medições em campo.

Ambos os mapas apresentaram suas maiores diferenças negativas nos pontos 40 e 41, sendo estes, os pontos com maior proteção física para a formação de barreiras acústicas.

Para uma melhor representação e entendimento de tais resultados, os modelos serão apresentados em forma de mapas de ruído. Os níveis de pressão sonora equivalente são apresentados através de curvas isofônicas, em intervalos de 5 dB(A), com atribuição de cores distintas para cada intervalo. Na Figura 35, é apresentado o mapa do modelo 1 e, na Figura 36, os modelos 2 e 3. Na Figura 37, é apresentada a sobreposição dos modelos 2 e 3 sobre o modelo 1.

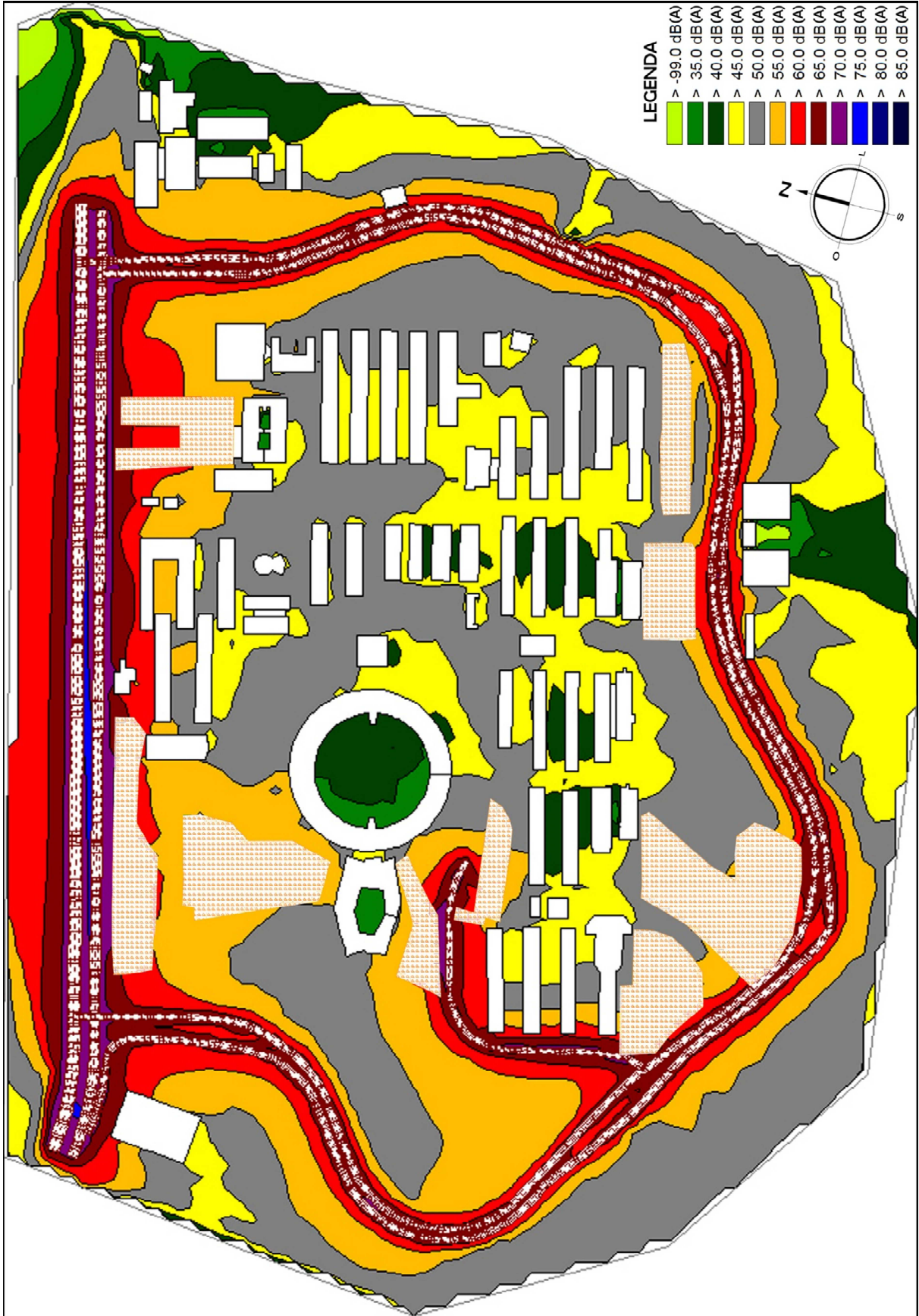
A sobreposição é realizada através de um modelo com cores sólidas sobreposto por um modelo onde se atribui transparência, para a visualização de ambos.

Figura 35 – Mapa modelo 1



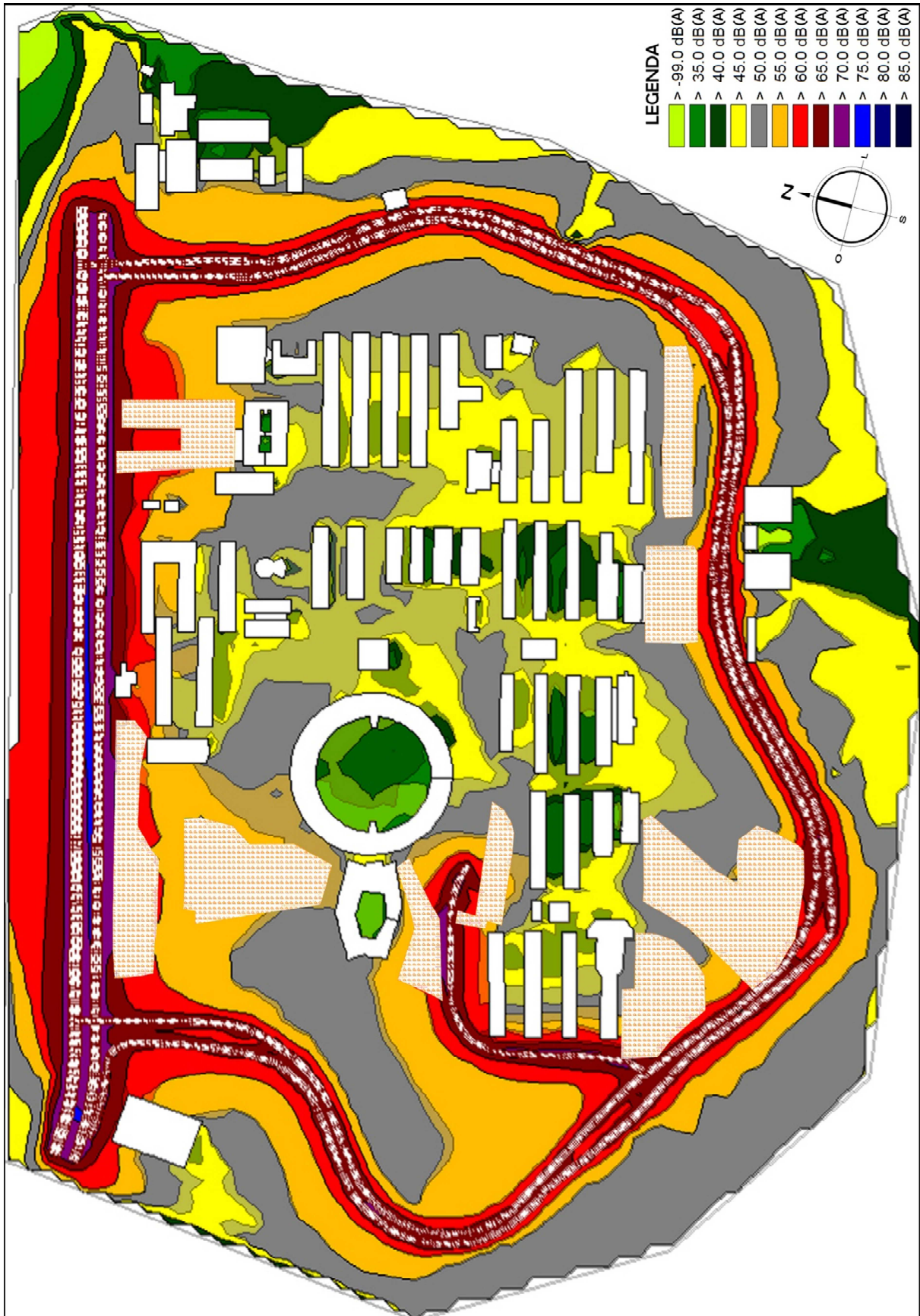
Fonte: Autor

Figura 36 – Mapa modelos 2 e 3



Fonte: Autor

Figura 37 – Sobreposição modelos 2 e 3 sobre 1



Fonte: Autor

Através dos mapas e da sobreposição dos modelos, percebe-se facilmente como a mudança de configuração da perda por reflexão das fachadas contribuiu para a formação do ambiente sonoro do Campus.

Nota-se que a diferença entre os modelos, torna-se visível, principalmente, em áreas próximas às edificações. Nestas áreas, o modelo 1 apresentou predominância de níveis de pressão sonora na faixa de 40 a 45 dB(A), e nos modelos 2 e 3, há a predominância de níveis na faixa de 45 a 50 dB(A).

Nesta análise, evidenciou-se também que a utilização de áreas demarcadas com o emprego da ferramenta “vegetação”, não resultou em mudanças entre os modelos 2 e 3.

Neste sentido, esta primeira análise de validação permitiu avaliar a sensibilidade dos modelos às mudanças básicas de configuração.

4.2.2 Resultados análise 2

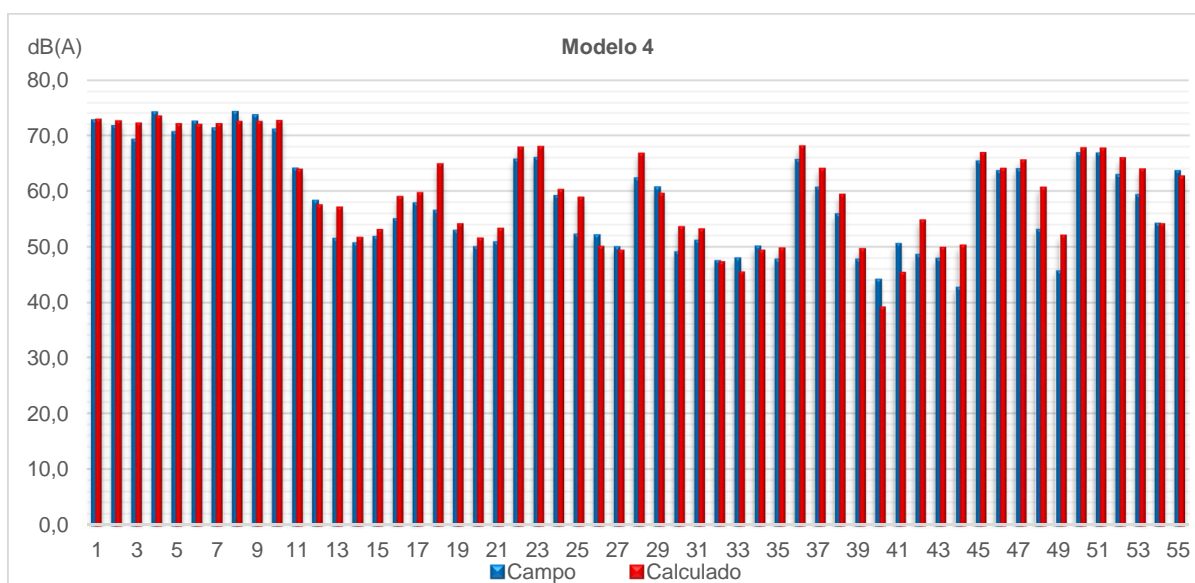
Na análise 2, foram avaliados diferentes cenários de coeficientes de absorção do solo, de modo que estes coeficientes pudessem representar as diferentes superfícies presentes no Campus. Para isso, definiu-se modelos com coeficientes de absorção prescritos pela ISO 9613-2, para corpos d'água e áreas de vegetação densa.

Deste modo, adotou-se parâmetros de absorção invariáveis para lagos e vegetação em ambos os modelos, alterando apenas, o coeficiente geral do solo.

Partindo-se do modelo 2, da análise 1, nesta análise, os modelos foram avaliados a partir da resposta atenuante do solo, frente aos resultados de campo, na expectativa de calibrar o modelo ao cenário avaliado.

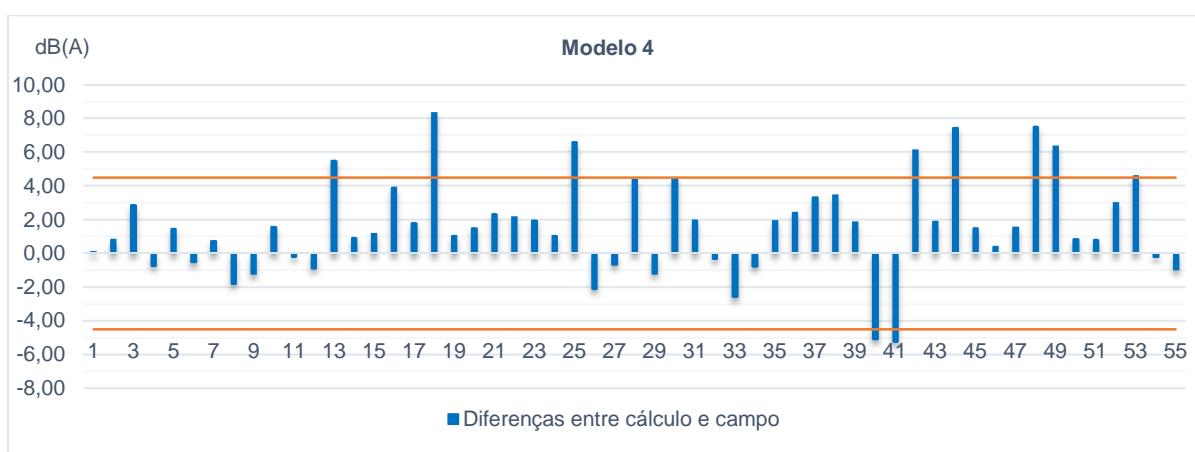
Para o modelo 4, na Figura 38, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 39, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 38 – Comparativo modelo 4



Fonte: Autor

Figura 39 – Diferenças modelo 4



Fonte: Autor

Em uma análise inicial do modelo 4, nota-se que dos 55 pontos analisados, 39 apresentam diferenças positivas e 16 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 10 pontos acima do limite estabelecido, sendo 8 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,32 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,24 dB(A).

Para o modelo 5, na Figura 40, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 41, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 40 – Comparativo modelo 5

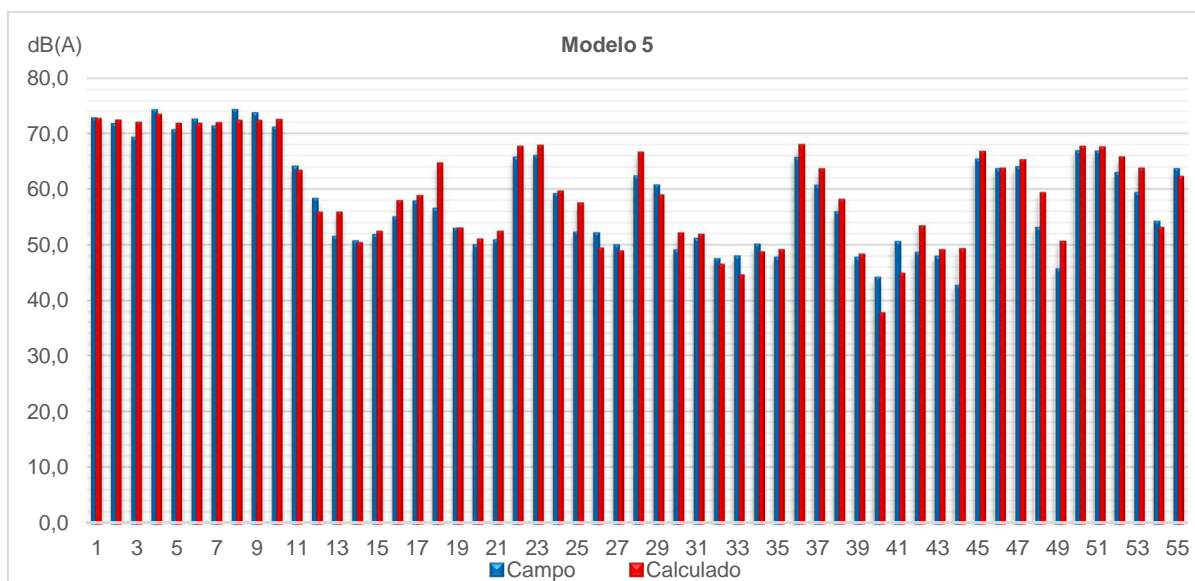
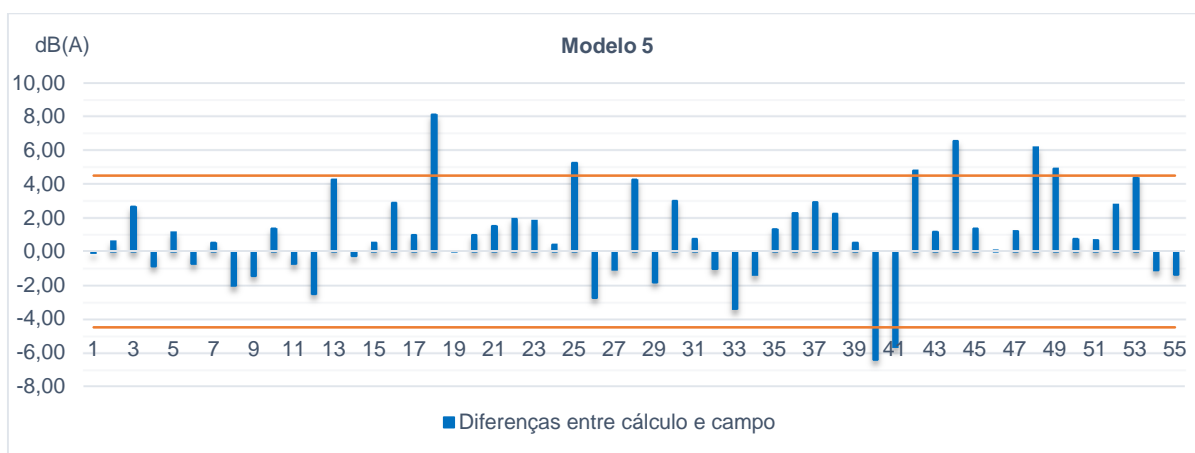


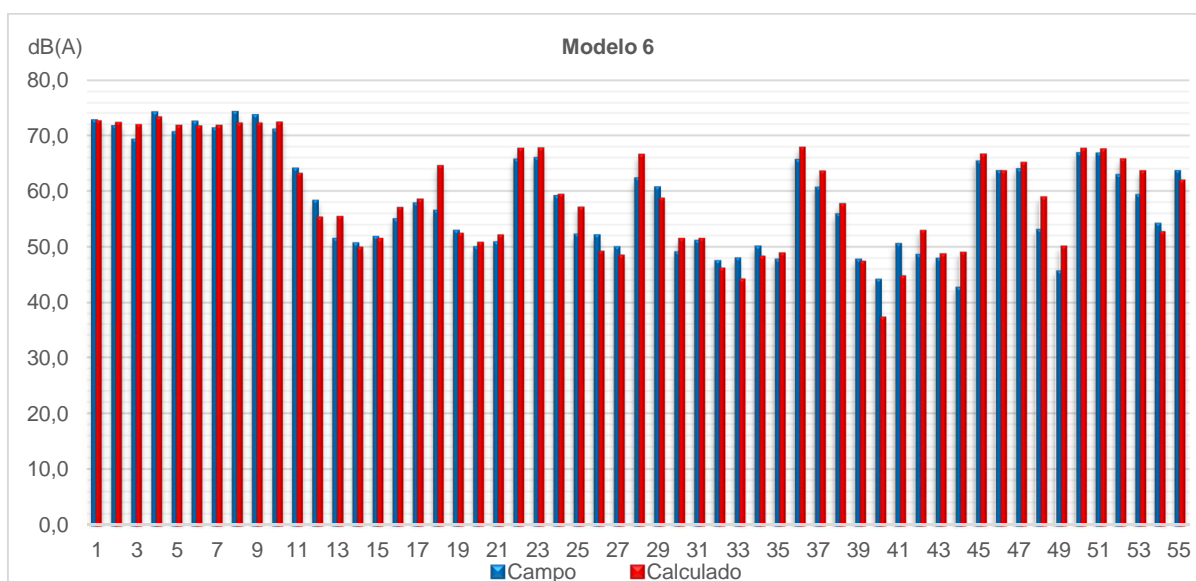
Figura 41 – Diferenças modelo 5



Em uma análise inicial do modelo 5, nota-se que dos 55 pontos analisados, 37 apresentam diferenças positivas e 18 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 8 pontos acima do limite estabelecido, sendo 6 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,12 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -6,38 dB(A).

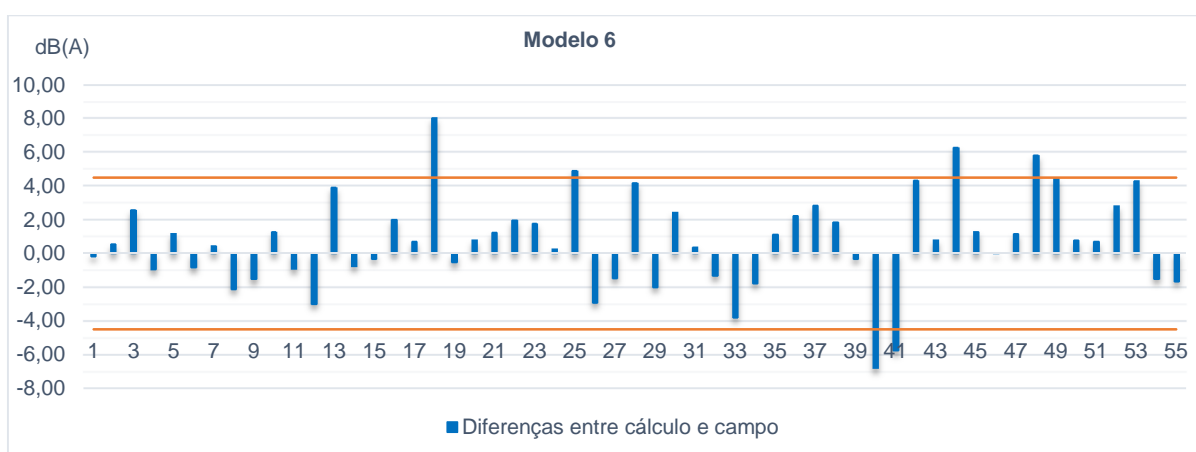
Para o modelo 6, na Figura 42, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 43, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 42 – Comparativo modelo 6



Fonte: Autor

Figura 43 – Diferenças modelo 6



Fonte: Autor

Em uma análise inicial do modelo 6, nota-se que dos 55 pontos analisados, 34 apresentam diferenças positivas e 21 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 6 pontos acima do limite estabelecido, sendo 4 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,02 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -6,78 dB(A).

Da mesma forma em que os resultados foram apresentados na análise 1, Na Tabela 12, são apresentadas as diferenças entre os resultados simulados e de campo. Os valores que apresentarem diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 12 – Resumo das diferenças análise 2

Pontos	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	Pontos	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
1	0,12	-0,08	-0,18	29	-1,20	-1,80	-2,00
2	0,84	0,64	0,54	30	4,43	3,03	2,43
3	2,87	2,67	2,57	31	1,97	0,77	0,37
4	-0,75	-0,85	-0,95	32	-0,33	-1,03	-1,33
5	1,47	1,17	1,17	33	-2,59	-3,39	-3,79
6	-0,53	-0,73	-0,83	34	-0,78	-1,38	-1,78
7	0,75	0,55	0,45	35	1,94	1,34	1,14
8	-1,81	-2,01	-2,11	36	2,42	2,32	2,22
9	-1,22	-1,42	-1,52	37	3,34	2,94	2,84
10	1,58	1,38	1,28	38	3,46	2,26	1,86
11	-0,22	-0,72	-0,92	39	1,87	0,57	-0,33
12	-0,89	-2,49	-2,99	40	-5,08	-6,38	-6,78
13	5,49	4,29	3,89	41	-5,24	-5,64	-5,74
14	0,93	-0,27	-0,77	42	6,12	4,82	4,32
15	1,17	0,57	-0,33	43	1,89	1,19	0,79
16	3,91	2,91	2,01	44	7,45	6,55	6,25
17	1,80	1,00	0,70	45	1,49	1,39	1,29
18	8,32	8,12	8,02	46	0,41	0,11	0,01
19	1,06	0,06	-0,54	47	1,55	1,25	1,15
20	1,50	1,00	0,80	48	7,50	6,20	5,80
21	2,33	1,53	1,23	49	6,35	4,95	4,45
22	2,17	1,97	1,97	50	0,88	0,78	0,78
23	1,96	1,86	1,76	51	0,82	0,72	0,72
24	1,06	0,46	0,26	52	3,01	2,81	2,81
25	6,59	5,29	4,89	53	4,59	4,39	4,29
26	-2,12	-2,72	-2,92	54	-0,21	-1,11	-1,51
27	-0,66	-1,06	-1,46	55	-0,96	-1,36	-1,66
28	4,37	4,27	4,17				

Fonte: Autor

A partir dos comparativos e diferenças apresentados, na Tabela 13 são expostos os resultados das análises de validação dos modelos. Também são apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas entre calculado e campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 13 – Resultados análise 2

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
2	4	0,95	2,86	2,48	-5,24	8,32	2,87	-1,54
	5	0,95	2,79	2,23	-6,38	8,12	2,38	-1,91
	6	0,96	2,79	2,18	-6,78	8,02	2,33	-1,93

Fonte: Autor

Em uma análise geral dos modelos, pode-se fazer as seguintes considerações:

Configurado para ser o modelo referencial para esta segunda etapa, o modelo 4 serviu para avaliar a utilização dos coeficientes de absorção para as áreas de lagos e vegetação densa, partindo-se do modelo 2. Através do comparativo entre o modelo 2 e 4, percebe-se que, no modelo 4, em pontos localizados próximos às áreas simuladas como vegetação, os resultados apresentam diferenças menores, ao passo que, em locais próximos aos lagos, as diferenças apresentam-se maiores. Este comportamento serviu de base para a avaliação combinada de níveis gerais de absorção do solo e as demais áreas demarcadas com coeficientes distintos, nos modelos 5 e 6.

No modelo 5, é possível identificar como os níveis registrados em campo podem influenciar na validação dos modelos. Como os resultados de campo não mudam, em cada alteração do coeficiente geral de absorção do solo, observa-se que as diferenças entre cálculo e campo apresentam uma tendência. Este comportamento é previsível, pois à medida que se impõe uma maior dificuldade na propagação do ruído, para uma mesma distância da fonte, as diferenças positivas tendem a ser menores e as diferenças negativas maiores. Para exemplificar este comportamento, nos pontos 40 e 44 do modelo 4, as diferenças são de -5,08 dB(A) e 7,45 dB(A), respectivamente, e no modelo 5, para os mesmos pontos, as diferenças são de -6,38 dB(A) e 6,55 dB(A). Este fenômeno ocorre em todos os pontos avaliados tornando-se mais evidente, à medida em que a distância das fontes de ruído aumenta.

Com coeficiente de absorção geral do solo configurado em 0,85, o modelo 6 apresentou um comportamento bastante similar ao modelo 5, seguindo a mesma tendência de resultados. Para exemplificar a influência das configurações combinadas, no ponto 20, nos modelos 2, 4, 5 e 6, as diferenças registradas para cada modelo são, respectivamente: 2,0 dB(A), 1,5 dB(A), 1,0 dB(A) e 0,8 dB(A). O ponto 20 está localizado em uma área considerada como vegetação densa.

Na tabela de resultados da análise 2, a mudança de parâmetros é evidenciada em praticamente todos os itens avaliados. Com exceção da correlação, nos demais itens, o comportamento similar dos modelos é facilmente identificado, à medida em que o coeficiente geral de absorção aumenta.

Nas Figuras 44, 45 e 46, são apresentados os mapas dos modelos 4, 5 e 6, respectivamente. Na Figura 47 é apresentada a sobreposição do modelo 5 sobre o 4 e na Figura 48 a sobreposição do modelo 6 sobre o 5.

Figura 44 – Mapa modelo 4

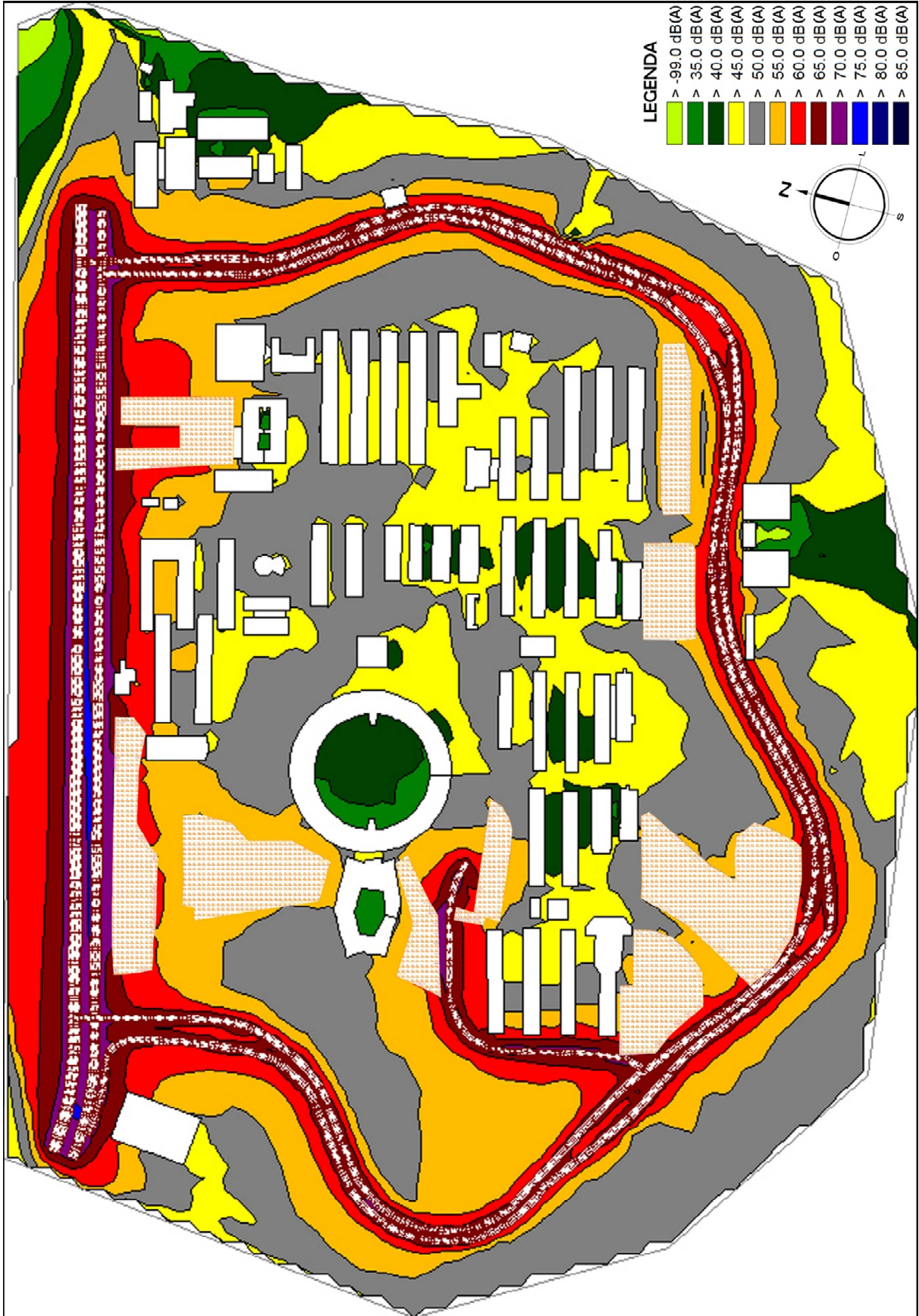
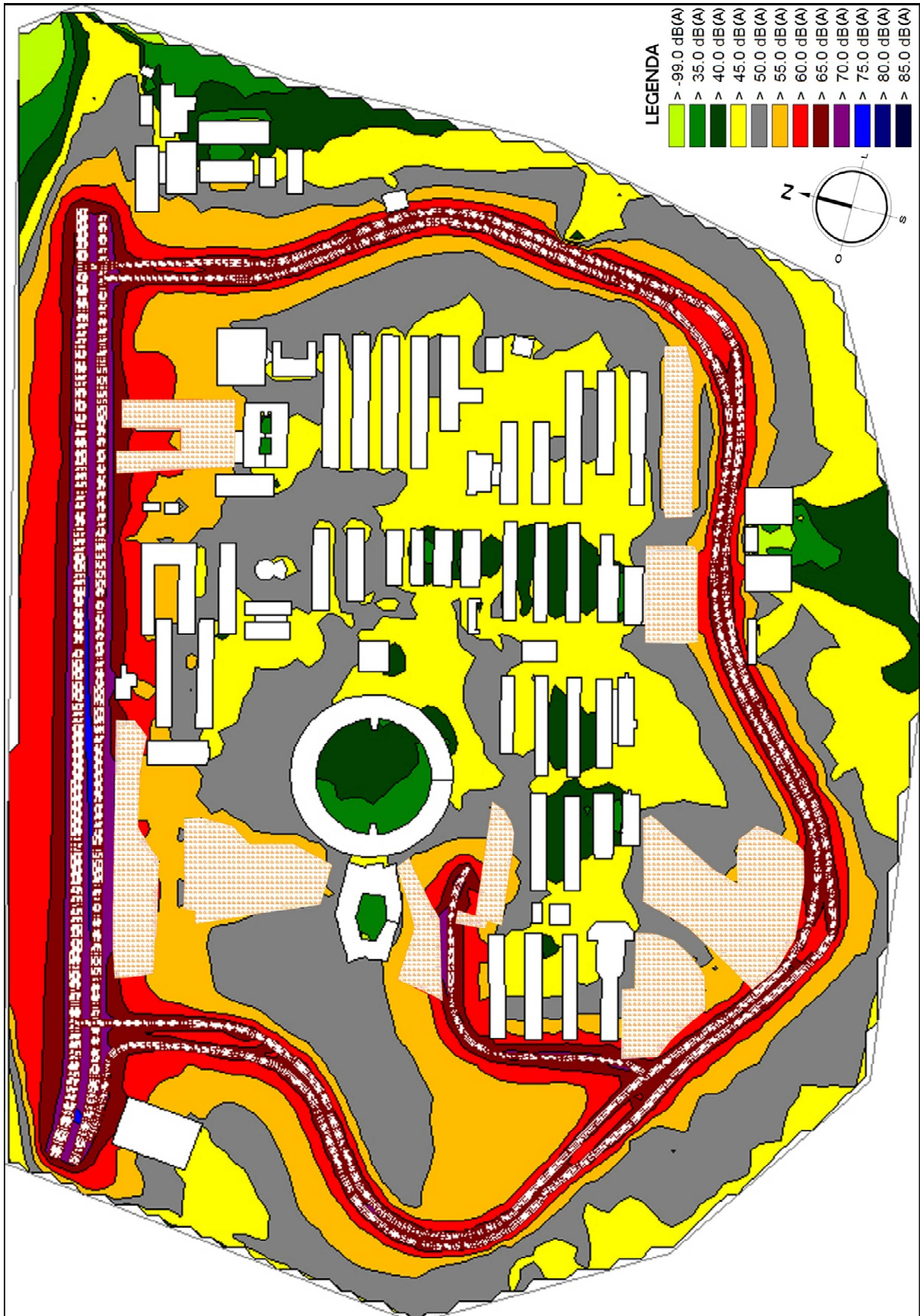
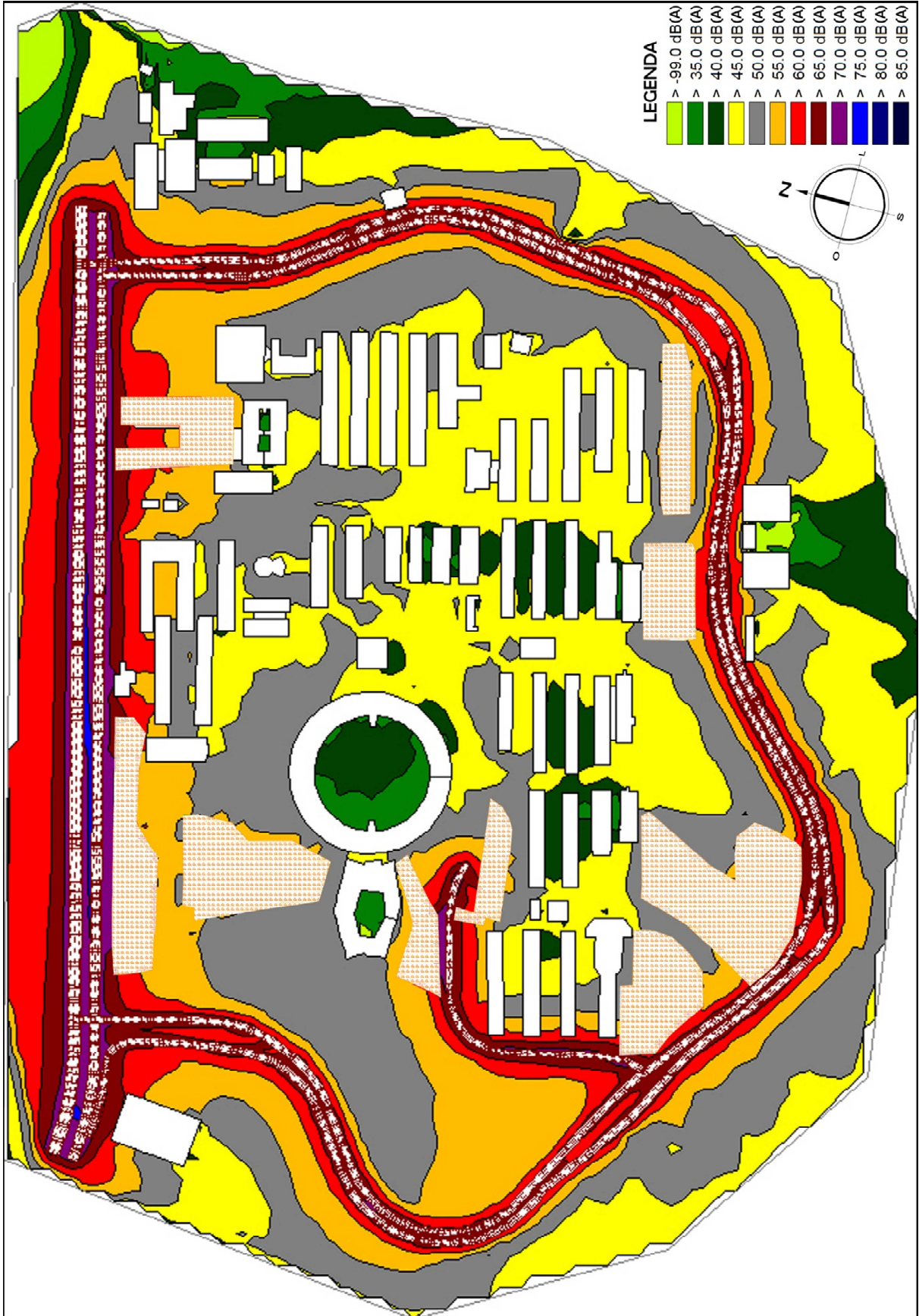


Figura 45 – Mapa modelo 5



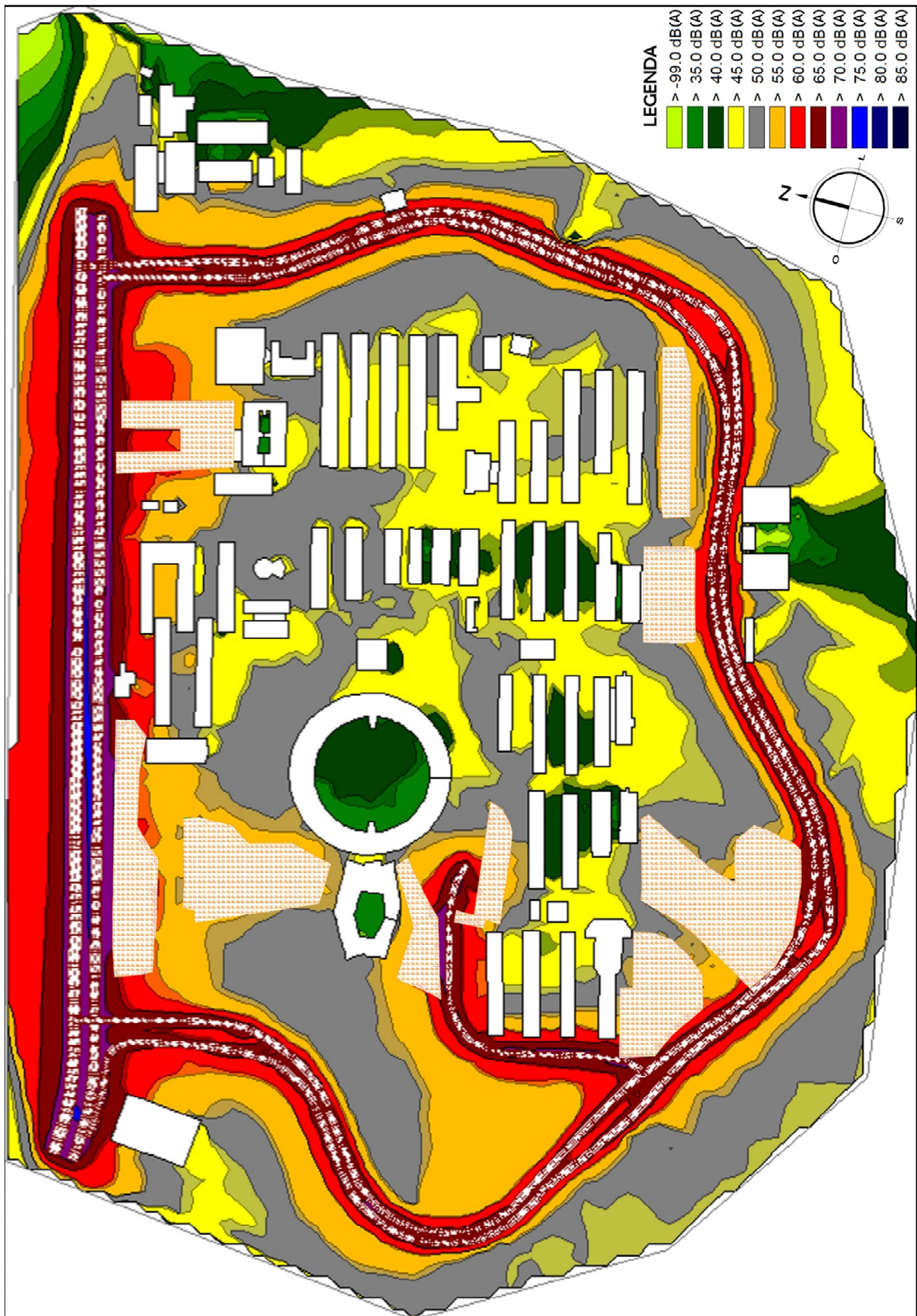
Fonte: Autor

Figura 46 – Mapa modelo 6



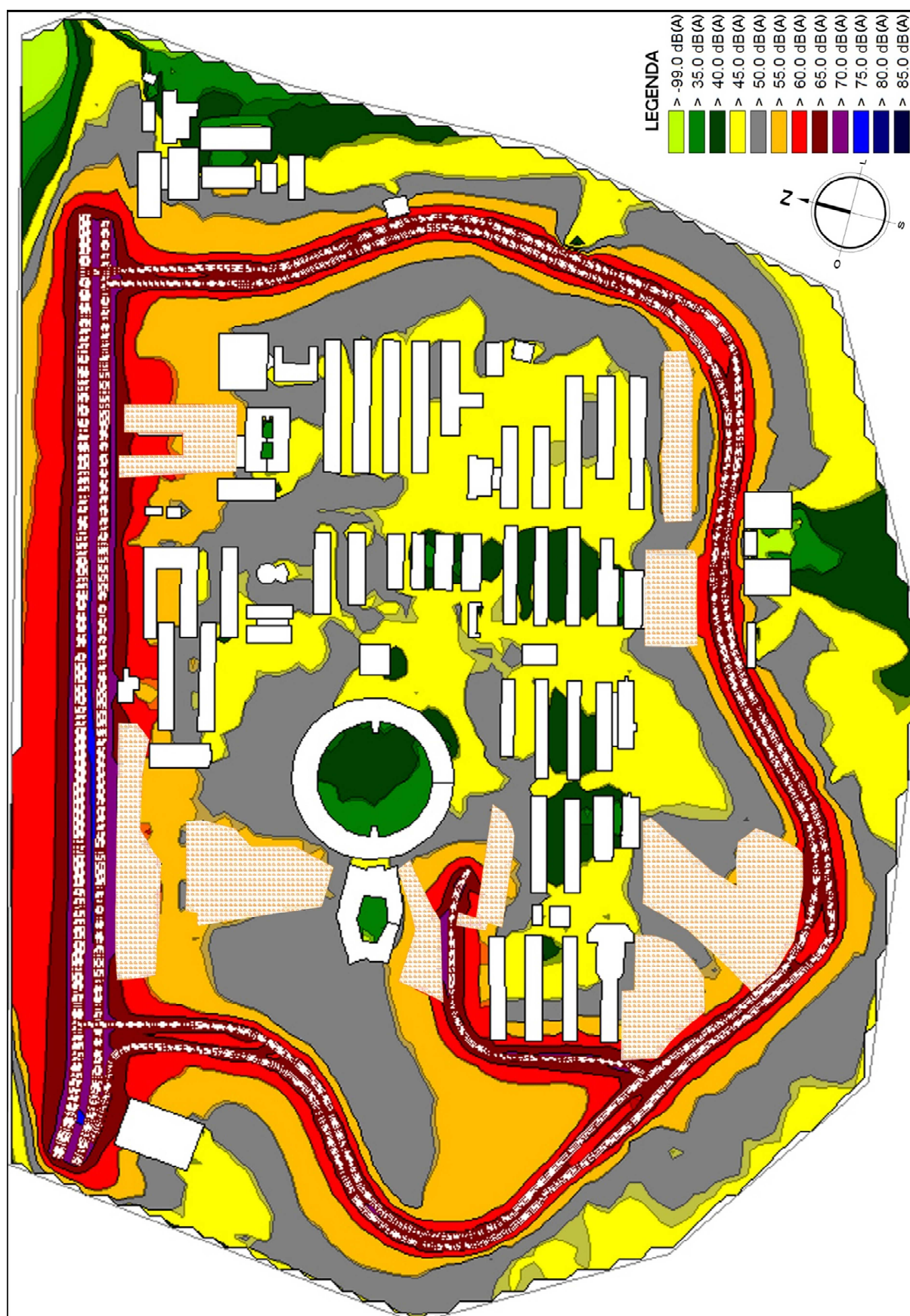
Fonte: Autor

Figura 47 – Sobreposição modelo 5 sobre 4



Fonte: Autor

Figura 48 – Sobreposição modelo 6 sobre 5



Fonte: Autor

Nesta análise, o comportamento atenuante dos modelos é facilmente identificado através da sobreposição dos mesmos.

Na sobreposição do modelo 5 sobre 4, em diversos pontos do mapa estes efeitos podem ser evidenciados. Nota-se que a partir do eixo das vias, no modelo 5, à medida que a distância da fonte de ruído aumenta, o decaimento dos níveis de pressão sonora ocorre a uma menor distância. Nas áreas planas do mapa, como no estacionamento próximo ao centro administrativo, no modelo 5, percebe-se que a faixa de 55 a 60 dB(A), cobre uma área menor que a do modelo 4. Percebe-se também que na área configurada como lago, a partir da via interna até as proximidades da biblioteca, as diferenças entre as curvas isofônicas são menos acentuadas.

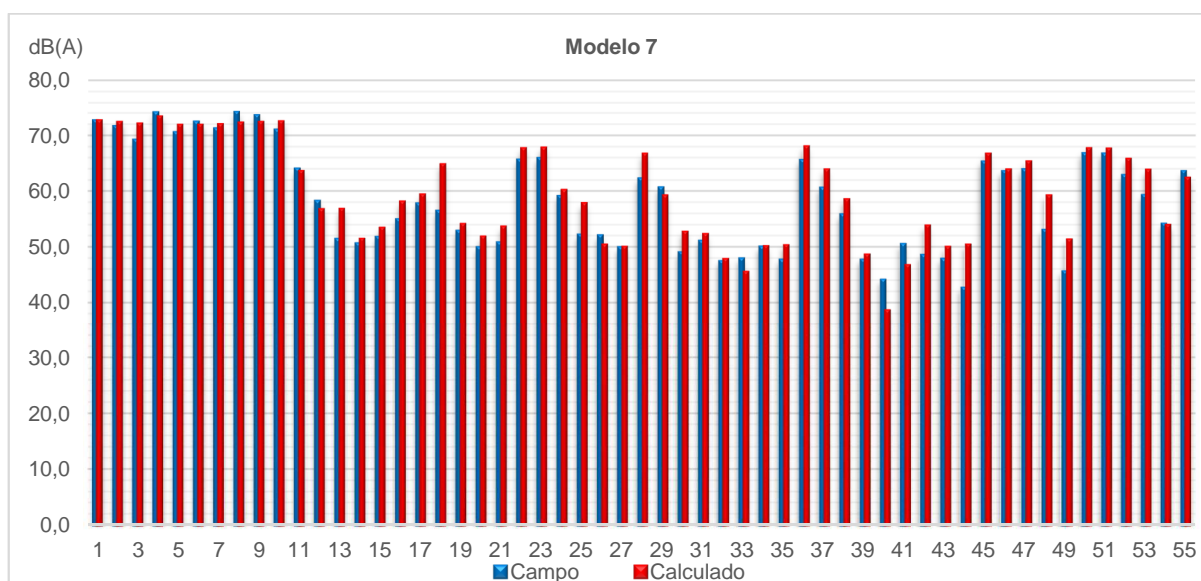
Através da sobreposição do modelo 6 sobre 5, percebe-se que as diferenças são menos acentuadas. Com comportamento bastante similar em áreas próximas às fontes de ruído, o modelo 6 apresentou, nas áreas centrais do Campus, um comportamento ainda mais atenuante, com predominância de níveis de pressão sonora na faixa de 45 a 50 dB(A).

4.2.3 Resultados análise 3

Partindo-se do modelo com resultados mais próximos da realidade registrada durante as medições em campo, na análise 3, o modelo 6 foi configurado com três diferentes parâmetros meteorológicos disponíveis no CadnaA. Primeiramente, tomou-se o modelo anteriormente avaliado com a condição “default”, sendo esta, a mesma configuração especificada pela APA, conforme descrito no item 3.3.1. A partir deste modelo, fez-se a alteração da condição “default” para a condição “favorável” no modelo 7 e “homogênea” para o modelo 8.

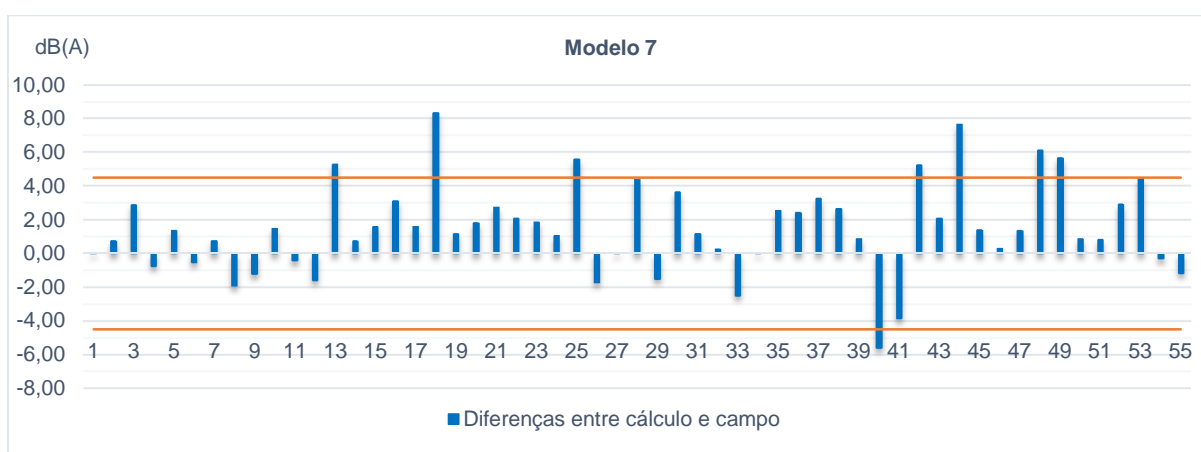
Para o modelo 7, na Figura 49, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 50, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo. Os resultados do modelo 6 foram apresentados na análise 2.

Figura 49 – Comparativo modelo 7



Fonte: Autor

Figura 50 – Diferenças modelo 7



Fonte: Autor

Em uma análise inicial do modelo 7, nota-se que dos 55 pontos analisados, 42 apresentam diferenças positivas e 13 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 8 pontos acima do limite estabelecido, sendo 7 deles com diferença positiva e 1 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,32 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -5,58 dB(A).

Para o modelo 8, na Figura 51, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 52, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 51 – Comparativo modelo 8

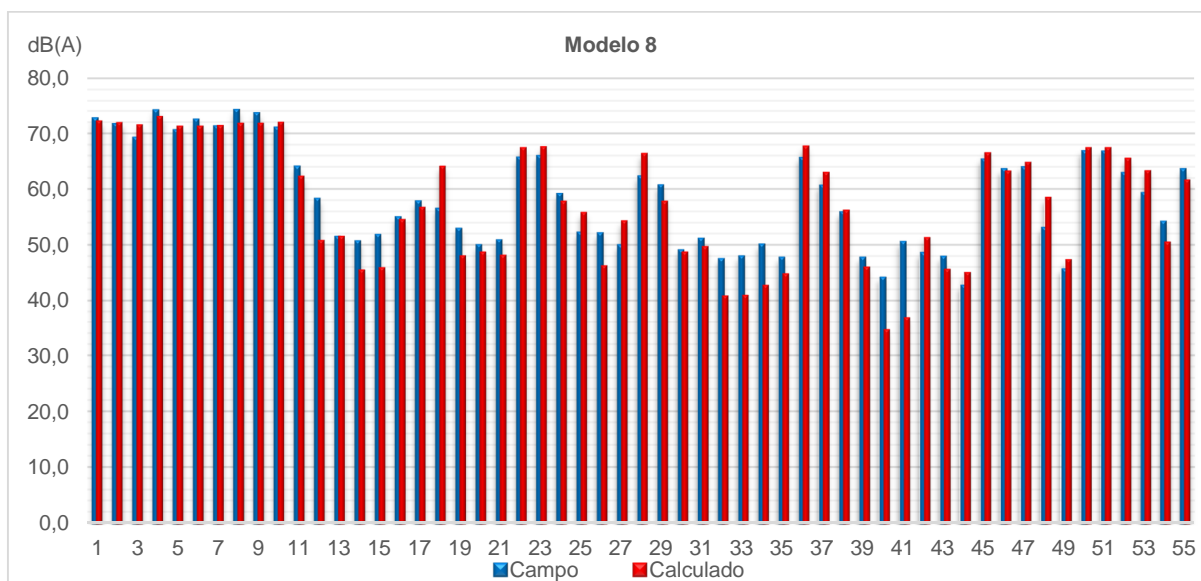
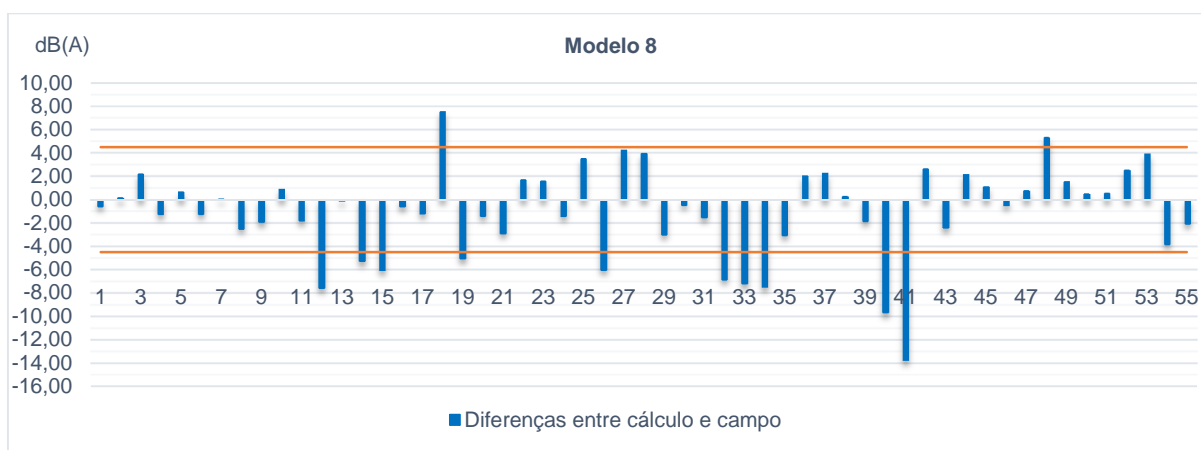


Figura 52 – Diferenças modelo 8



Em uma análise inicial do modelo 8, nota-se que dos 55 pontos analisados, 24 apresentam diferenças positivas e 31 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 12 pontos acima do limite estabelecido, sendo 2 deles com diferença positiva e 10 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 7,52 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -13,74 dB(A).

Da mesma forma em que os resultados foram apresentados nas análises 1 e 2, na Tabela 14, são apresentadas as diferenças entre os resultados simulados e de campo. Os valores que apresentarem diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 14 – Resumo das diferenças análise 3

Pontos	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8	Pontos	Modelo 6	Modelo 7	Modelo 8
1	-0,18	0,02	-0,58	29	-2,00	-1,50	-3,00
2	0,54	0,74	0,14	30	2,43	3,63	-0,47
3	2,57	2,87	2,17	31	0,37	1,17	-1,53
4	-0,95	-0,75	-1,25	32	-1,33	0,27	-6,83
5	1,17	1,37	0,67	33	-3,79	-2,49	-7,19
6	-0,83	-0,53	-1,23	34	-1,78	0,02	-7,48
7	0,45	0,75	0,05	35	1,14	2,54	-3,06
8	-2,11	-1,91	-2,51	36	2,22	2,42	2,02
9	-1,52	-1,22	-1,92	37	2,84	3,24	2,24
10	1,28	1,48	0,88	38	1,86	2,66	0,26
11	-0,92	-0,42	-1,82	39	-0,33	0,87	-1,83
12	-2,99	-1,59	-7,59	40	-6,78	-5,58	-9,68
13	3,89	5,29	-0,11	41	-5,74	-3,84	-13,74
14	-0,77	0,73	-5,27	42	4,32	5,22	2,62
15	-0,33	1,57	-6,03	43	0,79	2,09	-2,41
16	2,01	3,11	-0,59	44	6,25	7,65	2,15
17	0,70	1,60	-1,20	45	1,29	1,39	1,09
18	8,02	8,32	7,52	46	0,01	0,31	-0,49
19	-0,54	1,16	-5,04	47	1,15	1,35	0,75
20	0,80	1,80	-1,40	48	5,80	6,10	5,30
21	1,23	2,73	-2,87	49	4,45	5,65	1,55
22	1,97	2,07	1,67	50	0,78	0,88	0,48
23	1,76	1,86	1,56	51	0,72	0,82	0,52
24	0,26	1,06	-1,44	52	2,81	2,91	2,51
25	4,89	5,59	3,49	53	4,29	4,49	3,89
26	-2,92	-1,72	-6,02	54	-1,51	-0,31	-3,81
27	-1,46	0,04	4,24	55	-1,66	-1,16	-2,06
28	4,17	4,37	3,97				

Fonte: Autor

A partir dos comparativos e diferenças apresentados, na Tabela 15 são expostos os resultados das análises de validação dos modelos. Também são apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas entre calculado e campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 15 – Resultados análise 3

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
3	6	0,96	2,79	2,18	-6,78	8,02	2,33	-1,93
	7	0,96	2,66	2,31	-5,58	8,32	2,48	-1,77
	8	0,94	3,91	2,95	-13,74	7,52	2,16	-3,56

Fonte: Autor

Em uma análise geral dos modelos, pode-se fazer as seguintes considerações:

No modelo 7, a mudança de condição meteorológica à propagação resultou em um cenário com maiores diferenças positivas e, conseqüentemente, com menores diferenças negativas, seguindo o comportamento dos modelos com cenário menos absorvente, apesar do coeficiente de absorção ser invariável para esta análise. Este cenário contribuiu para uma melhora na média quadrática e desvio padrão do modelo. Na diferença máxima positiva, o modelo apresentou uma pequena diferença em relação ao modelo 6, passando de 8,02 dB(A) para 8,32 dB(A). Já a diferença máxima negativa passou de -6,78 dB(A) para -5,58 dB(A). As médias positivas e negativas do modelo 7, comprovam um modelo menos suscetível aos efeitos de absorção do solo.

Em uma análise do modelo 8, é evidente a tendência do modelo a subestimar os níveis registrados durante as medições de campo. Nos pontos de medição localizados sobre as vias, o modelo apresentou as menores diferenças desta análise, em praticamente todos os pontos. No entanto, à medida em que a distância da fonte aumenta, as diferenças negativas se mostram bastante acentuadas. Através da tabela de resultados da análise 3, esta característica atenuante do modelo é evidenciada. Seguindo a tendência de resultados dos modelos com maior capacidade absorvente, em função dos níveis coletados em campo, o modelo apresentou as menores diferenças positivas e as maiores diferenças negativas.

Analisando-se os três modelos, percebe-se novamente, através do índice de correlação dos mesmos que, apesar de alto, não é suficiente para comprovar a confiabilidade dos modelos. Comprova-se também, nos resultados máximos negativos e positivos, a relação entre a localização dos pontos de medição e a influência das condições de campo durante seus registros.

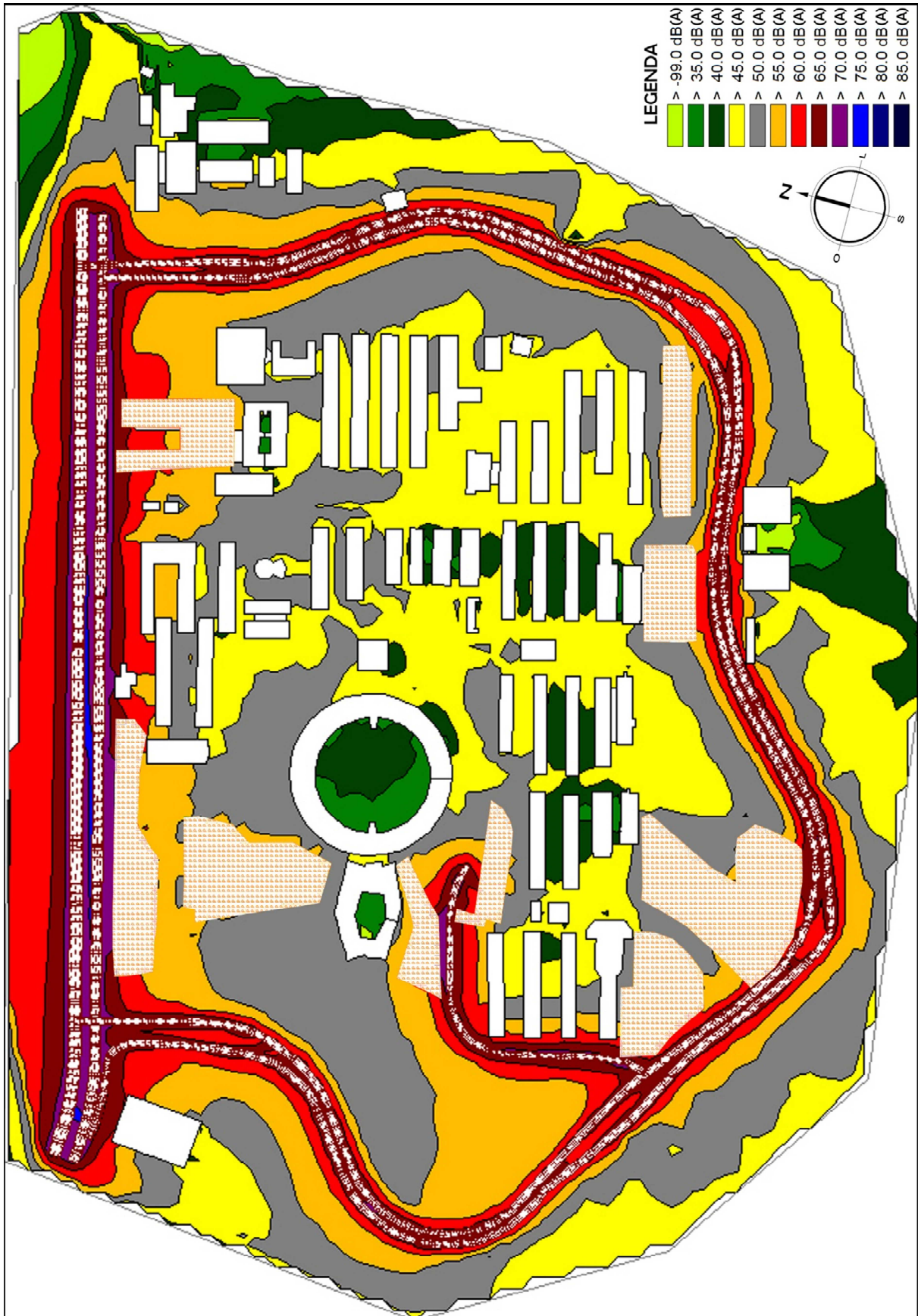
A condição meteorológica “favorável” à propagação sonora, mostrou-se menos suscetível às atenuações provenientes de absorção do solo. Evidenciado nos pontos de maior diferença positiva entre os resultados de cálculo e de campo, esta configuração contribui para a melhora dos resultados negativos, pois em pontos de baixa contribuição de ruído proveniente das vias, os resultados tendem a se aproximar mais das condições de ruído ambiente. Ao passo que os resultados negativos se aproximam das condições de campo, as diferenças de pontos localizados em estacionamentos e nas vias tendem a ser maiores, ou seja, esta configuração colabora para a geração de um modelo com resultados superestimados.

A condição “homogênea” à propagação sonora mostrou-se bastante suscetível às atenuações provenientes de absorção do solo, gerando um mapa diferente dos demais, com níveis de pressão sonora bastante baixos. O modelo apresentou um cenário bastante absorvente, com diferenças negativas acima do estabelecido em 10 pontos de medição. Comparando-o com os demais, o modelo 6 apresentou 2 pontos e o modelo 7 apenas 1 ponto.

Nesta análise, percebe-se a forte influência das condições meteorológicas em espaços abertos à propagação sonora. Dos 55 pontos avaliados, 25 estão localizados sobre a Avenida Unisinos e a principal via interna do Campus. Nestes 25 pontos, no comparativo das diferenças dos três modelos, nota-se que os resultados simulados são bastante próximos, no entanto, à medida em que a distância da fonte aumenta, a redução dos níveis de pressão sonora para uma mesma distância, nos modelos 6 e 7, é muito menor. Isto corrobora para a atenção na escolha das condições meteorológicas e também para a calibração do modelo segundo suas condições físicas reais.

Nas Figuras 53, 54 e 55, são apresentados os modelos 6, 7 e 8, respectivamente. Na Figura 56 é apresentada a sobreposição do modelo 7 sobre o 6 e na Figura 57 a sobreposição do modelo 8 sobre o 7.

Figura 53 – Mapa modelo 6



Fonte: Autor

Figura 54 – Mapa modelo 7

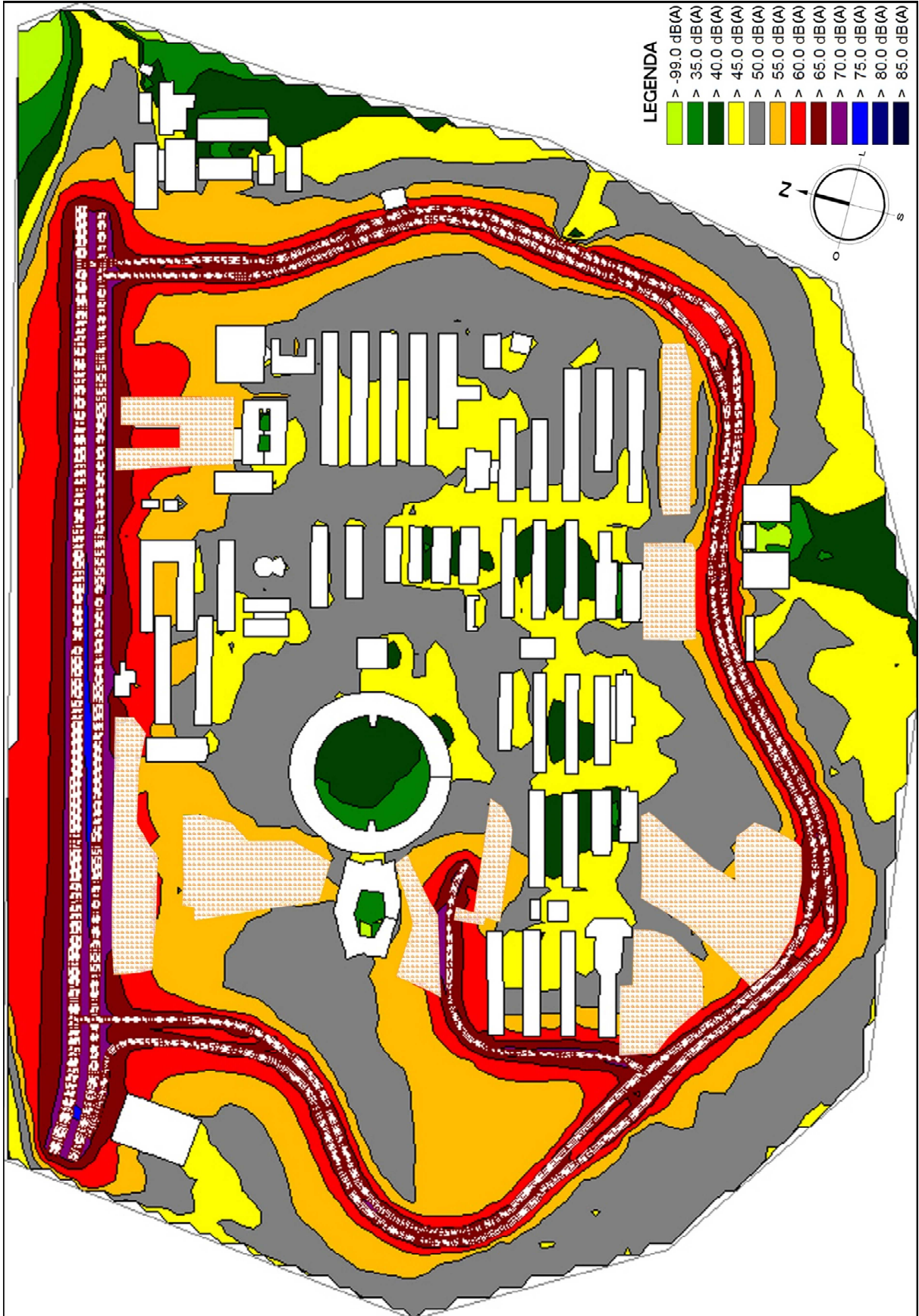
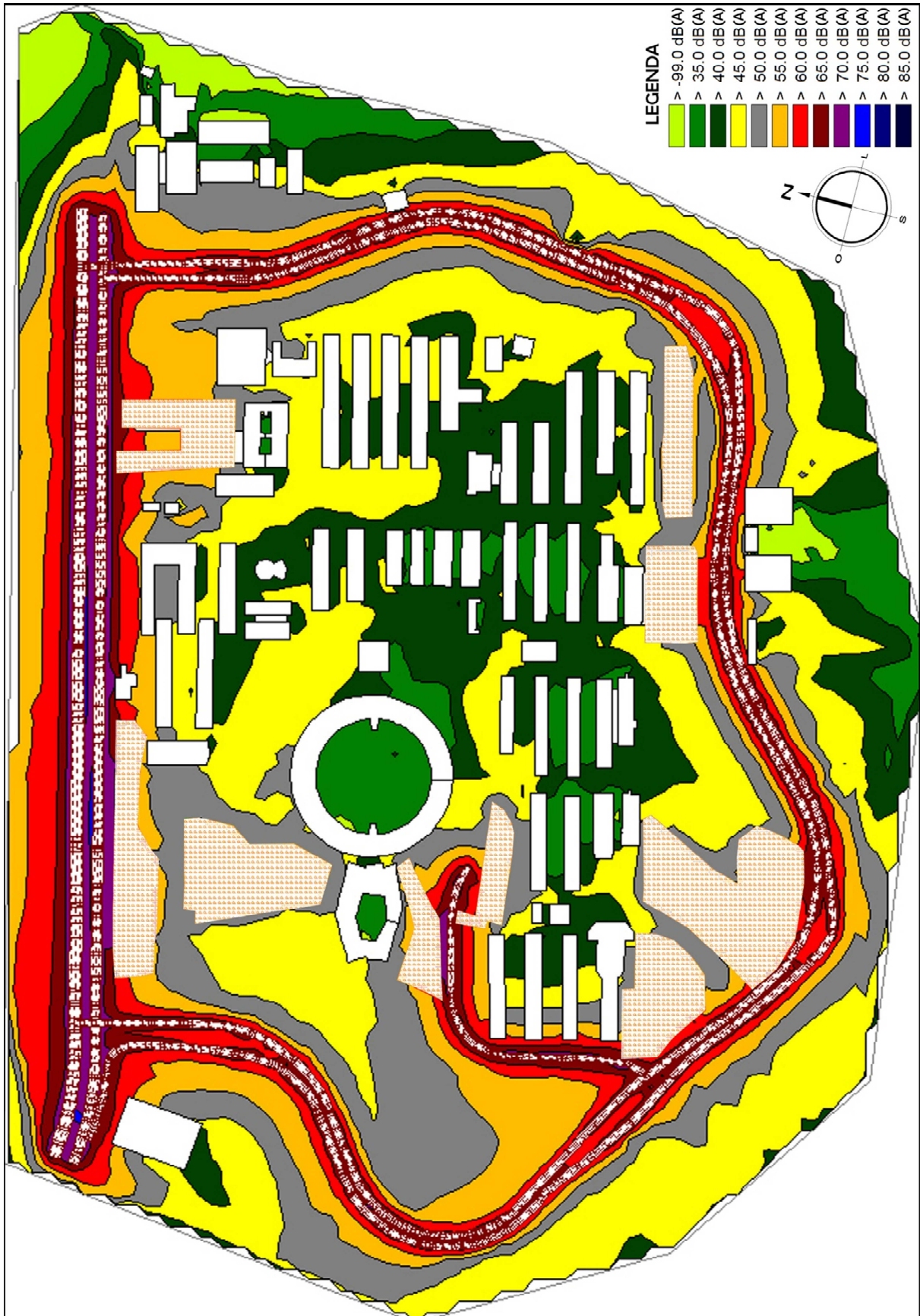


Figura 55 – Mapa modelo 8



Fonte: Autor

Figura 56 – Sobreposição modelo 7 sobre 6

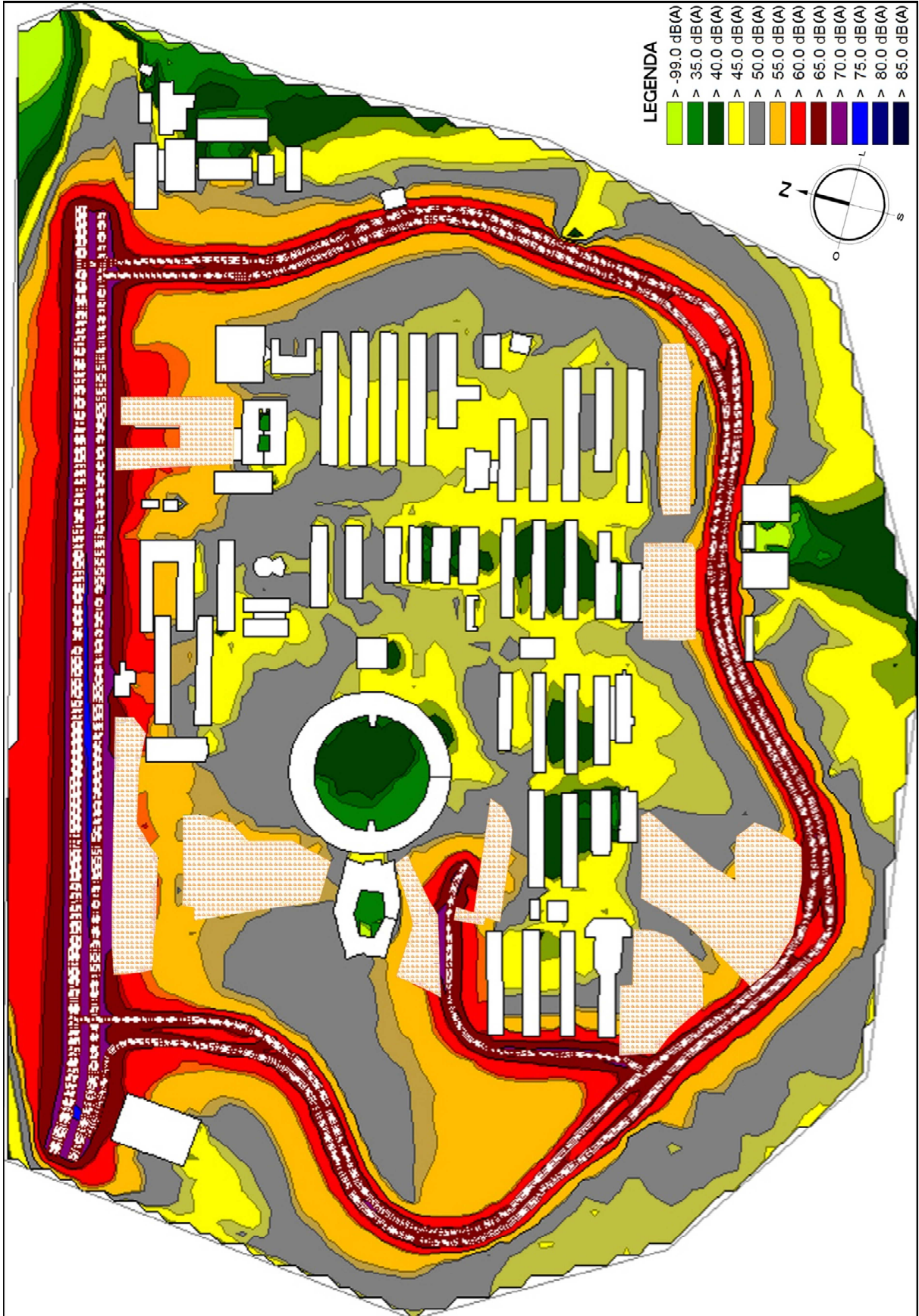
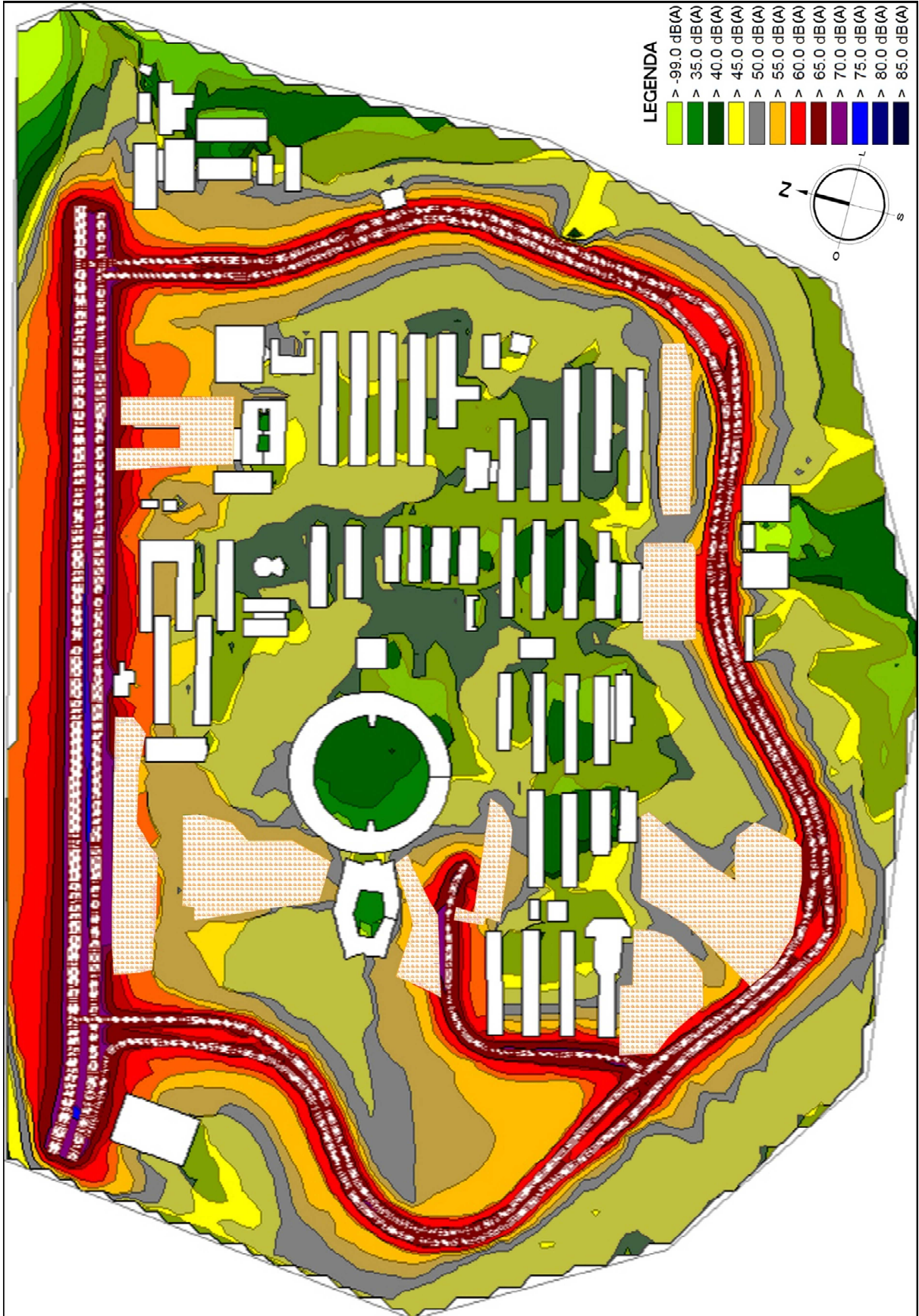


Figura 57 – Sobreposição modelo 8 sobre 7



Nesta análise, a alteração das condições meteorológicas, é facilmente percebida através da sobreposição dos modelos.

Na sobreposição do modelo 7 sobre 6, percebe-se que os mapas dos modelos apresentam a mesma tendência evidenciada nas análises anteriores. A condição “favorável” à propagação sonora do modelo 7, configurou um mapa com níveis de pressão sonora, principalmente nas áreas centrais, superior ao modelo 6, configurado com condição meteorológica default. Nestas áreas, para o modelo 7, há a predominância de níveis na faixa de 50 a 55 dB(A) e, para o modelo 6, a faixa predominante é a de 45 a 50 dB(A). Nas áreas planas do Campus, percebe-se também que as curvas isofônicas para a faixa de 55 a 60 dB(A), mostraram-se maiores para o modelo 7, principalmente na região de estacionamentos, partindo-se da Avenida Unisinos até o centro administrativo do Campus, e também na região de lago, próximo à biblioteca.

Através do mapa do modelo 8, pode-se concluir que esta opção configura um mapa com níveis de pressão sonora bastante baixos, com predominância, nas áreas centrais do Campus, na faixa de 40 a 45 dB(A). Nas sobreposições anteriores, os modelos apresentam sutis diferenças em áreas próximas as vias e, à medida em que a distância da fonte aumenta, os efeitos de atenuação do solo se mostram presentes. No entanto, para a sobreposição do modelo 8 sobre 7, o decaimento, principalmente em áreas planas, é muito acentuado no modelo 8, dificultando a identificação de possíveis causas para tais efeitos, pois isto ocorre em todo o mapa.

Através desta análise, pode-se perceber que o modelo 7, apesar de estar configurado com coeficiente de absorção em 0,85, apresentou um comportamento similar ao de modelos com coeficiente de absorção geral menor, como o modelo 4. Esta condição resultou em melhores resultados de desvio padrão e, teoricamente, não superestima a condição de absorção do cenário presente no Campus. Visto isto, para as demais avaliações, utilizou-se a condição climática “default”, recomendada pela APA e coeficiente geral de absorção do solo em 0,5.

4.2.4 Resultados análise 4

As análises anteriores serviram para avaliar a sensibilidade dos modelos a diferentes configurações de cálculo. Nesta análise, buscou-se a fidelidade na representação do modelo ao cenário do Campus. Em modelos anteriores, avaliou-se

como diferentes parâmetros minimizam ou maximizam as diferenças entre os resultados simulados e registrados em campo. No entanto, esta busca por menores diferenças pode, por vezes, forçar o usuário do programa a modificar o ambiente de simulação. Nas análises anteriores, é evidente a mudança do comportamento das curvas isofônicas, principalmente em espaços abertos, à medida em que os coeficientes de absorção do solo são alterados.

Para esta análise, foi fixado um coeficiente de absorção geral para o solo e para as áreas de lagos. Após a análise dos resultados anteriores, optou-se por um coeficiente de absorção do solo em 0,5, com o intuito de não superestimar a capacidade de atenuação de gramados e pequenas vegetações presentes no Campus. Já para os lagos, fixou-se o coeficiente de absorção em 0,0, pois tratam-se de superfícies bastante reflexivas.

Para o modelo 9, na Figura 58, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 59, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 58 – Comparativo modelo 9

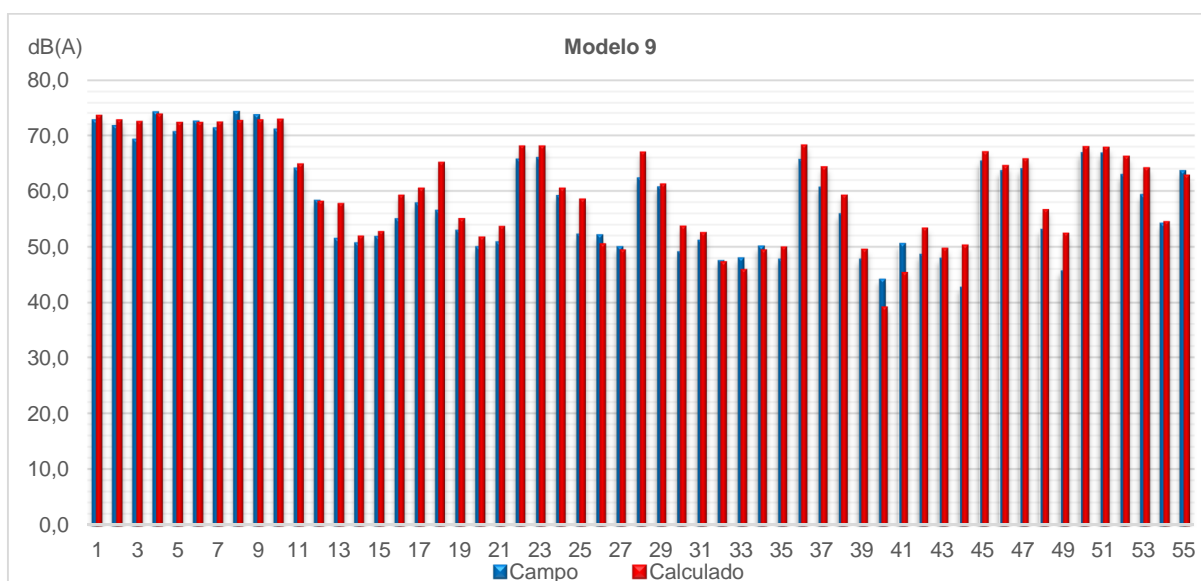
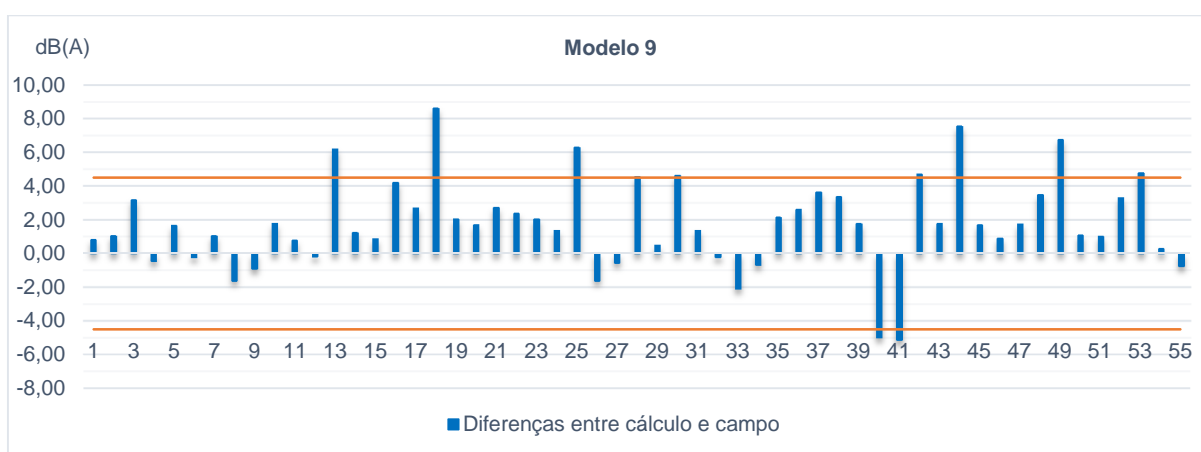


Figura 59 – Diferenças modelo 9



Em uma análise inicial do modelo 9, nota-se que dos 55 pontos analisados, 42 apresentam diferenças positivas e 13 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 11 pontos acima do limite estabelecido, sendo 9 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,62 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,14 dB(A).

Para o modelo 10, na Figura 60, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 61, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Figura 60 – Comparativo modelo 10

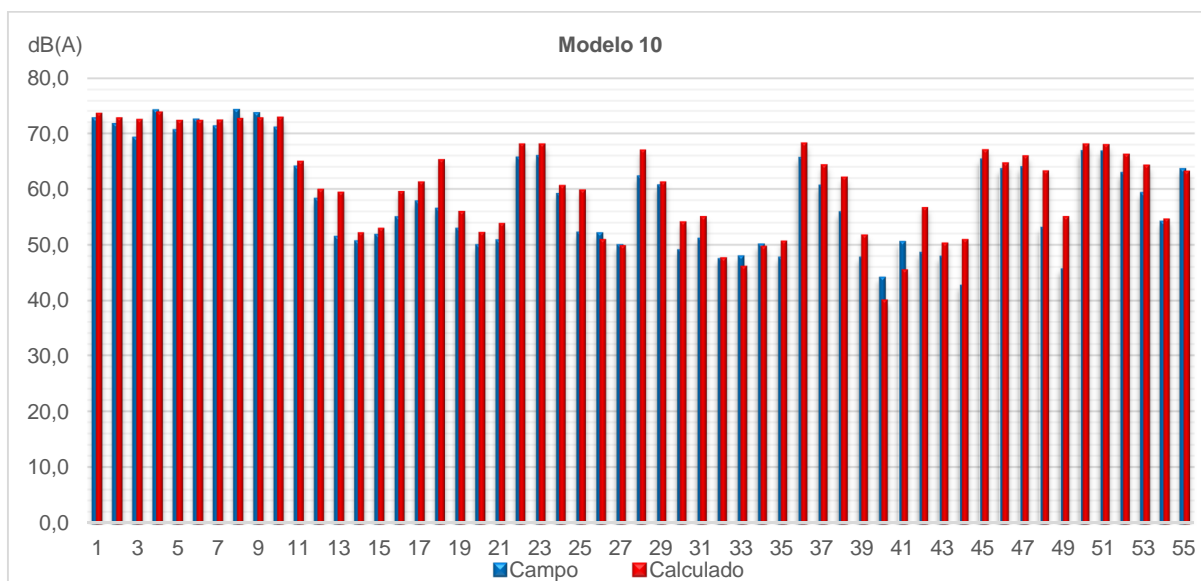
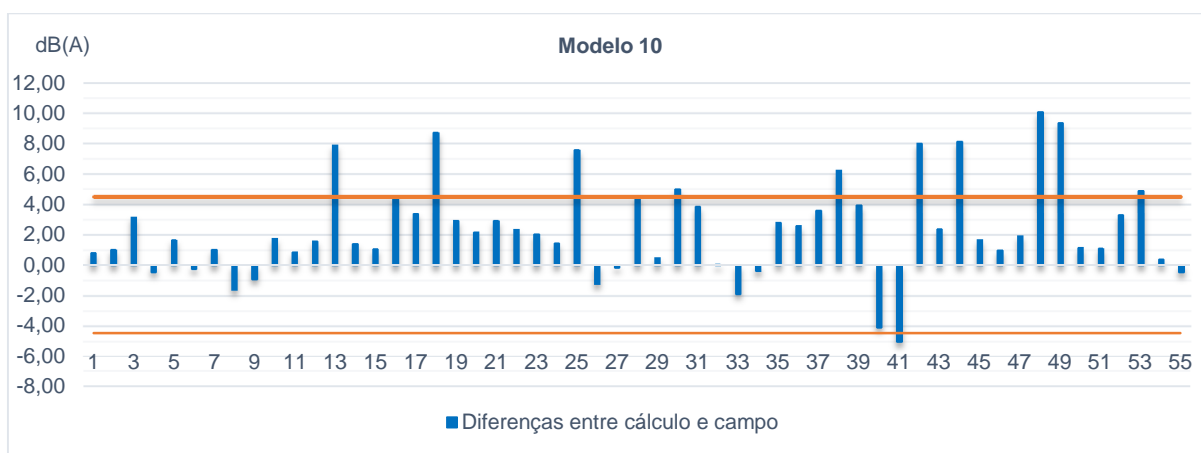


Figura 61 – Diferenças modelo 10



Em uma análise inicial do modelo 10, nota-se que dos 55 pontos analisados, 44 apresentam diferenças positivas e 11 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 13 pontos acima do limite estabelecido, sendo 12 deles com diferença positiva e 1 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 48, com 10,10 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,04 dB(A).

Para o modelo 11, na Figura 62, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 63, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 62 – Comparativo modelo 11

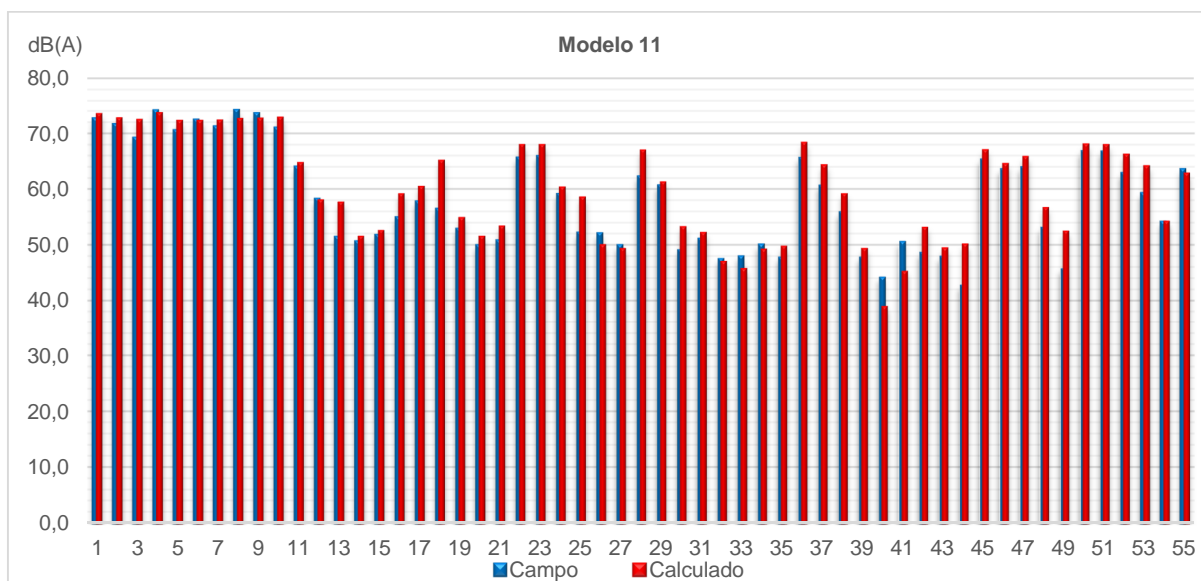
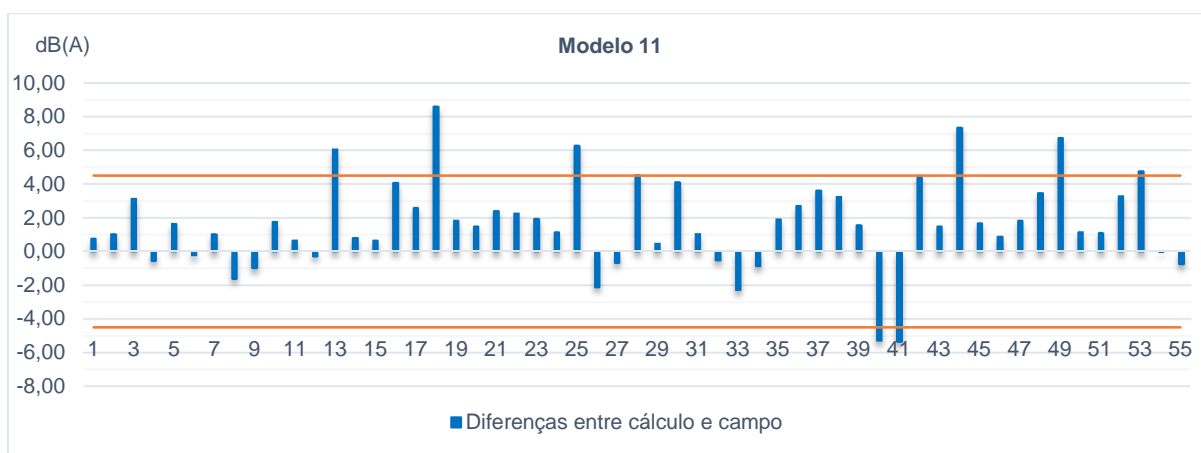


Figura 63 – Diferenças modelo 11



Em uma análise inicial do modelo 11, nota-se que dos 55 pontos analisados, 41 apresentam diferenças positivas e 14 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 10 pontos acima do limite estabelecido, sendo 8 deles com diferença positiva e 2 com diferença negativa. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,62 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 41, com -5,34 dB(A).

Da mesma forma que os resultados foram apresentados nas análises 1, 2 e 3, na Tabela 16, são apresentadas as diferenças entre os resultados simulados e de campo. Os valores que apresentarem diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 16 – Resumo das diferenças análise 4

Pontos	Modelo 9	Modelo 10	Modelo 11	Pontos	Modelo 9	Modelo 10	Modelo 11
1	0,82	0,82	0,78	29	0,50	0,50	0,50
2	1,04	1,04	1,04	30	4,63	5,03	4,13
3	3,17	3,17	3,15	31	1,37	3,87	1,07
4	-0,45	-0,45	-0,55	32	-0,23	0,07	-0,53
5	1,67	1,67	1,67	33	-2,09	-1,89	-2,29
6	-0,23	-0,23	-0,23	34	-0,68	-0,38	-0,88
7	1,05	1,05	1,05	35	2,14	2,84	1,94
8	-1,61	-1,61	-1,61	36	2,62	2,62	2,72
9	-0,92	-0,92	-1,00	37	3,64	3,64	3,64
10	1,78	1,78	1,78	38	3,36	6,26	3,26
11	0,78	0,88	0,68	39	1,77	3,97	1,57
12	-0,19	1,61	-0,29	40	-4,98	-4,08	-5,28
13	6,19	7,89	6,09	41	-5,14	-5,04	-5,34
14	1,23	1,43	0,83	42	4,72	8,02	4,52
15	0,87	1,07	0,67	43	1,79	2,39	1,49
16	4,21	4,51	4,11	44	7,55	8,15	7,35
17	2,70	3,40	2,60	45	1,69	1,69	1,69
18	8,62	8,72	8,62	46	0,91	1,01	0,91
19	2,06	2,96	1,86	47	1,75	1,95	1,85
20	1,70	2,20	1,50	48	3,50	10,10	3,50
21	2,73	2,93	2,43	49	6,75	9,35	6,75
22	2,37	2,37	2,27	50	1,08	1,18	1,18
23	2,06	2,06	1,96	51	1,02	1,12	1,12
24	1,36	1,46	1,16	52	3,31	3,31	3,31
25	6,29	7,59	6,29	53	4,79	4,89	4,79
26	-1,62	-1,22	-2,12	54	0,29	0,39	-0,01
27	-0,56	-0,16	-0,66	55	-0,76	-0,46	-0,76
28	4,57	4,57	4,57				

Fonte: Autor

A partir dos comparativos e diferenças apresentados, na Tabela 17 são expostos os resultados das análises de validação dos modelos. Também são apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas entre calculado e campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 17 – Resultados análise 4

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
4	9	0,96	2,67	2,47	-5,14	8,62	2,77	-1,50
	10	0,94	3,17	2,98	-5,04	10,1	3,35	-1,49
	11	0,96	2,69	2,42	-5,34	8,62	2,74	-1,54

Fonte: Autor

Em uma análise geral dos modelos, pode-se fazer as seguintes considerações:

Partindo-se do modelo 4, no modelo 9, foram atribuídas novas condições de absorção para as áreas configuradas como lagos e vegetação densa. A condição meteorológica “default” foi mantida. Analisando-se a tabela de resumo das diferenças e a tabela de resultados da análise 4, percebe-se que o modelo 9 apresenta um ambiente de propagação menos absorvente, com resultados intermediários, entre o modelo 4 e o modelo 6.

Em uma análise do modelo 10, é evidente a contribuição dos níveis emitidos, principalmente nas áreas de estacionamento, na caracterização do ambiente de propagação. Utilizando-se o método de cálculo da norma alemã, o gráfico das diferenças demonstra um modelo superestimado, frente a realidade registrada em campo. Este efeito se deve também a configuração do coeficiente de absorção geral do modelo em 0,5. Isto contribui para a formação de um modelo menos suscetível aos fenômenos de absorção.

Em uma análise do modelo 11, nota-se um padrão de resultados bastante similar ao modelo 9. Com uma pequena variação do coeficiente de absorção entre os modelos, as diferenças em cada ponto, mantiveram-se bastante próximas. Assim como nos modelos anteriores, o padrão de resultados se manteve o mesmo, à medida que o coeficiente aumenta.

No comparativo da análise 2, nos modelos 5 e 6, a medida em que o coeficiente de absorção do solo aumenta, as diferenças positivas diminuem, ao passo que, para as diferenças negativas, à medida que o coeficiente de absorção aumenta, as diferenças são maiores. Na tentativa de equilibrar estas diferenças e não superestimar a capacidade de atenuação do solo presente no Campus, os modelos desta análise e também da análise 5, foram validados utilizando-se um coeficiente geral de absorção do solo de 0,5. Para as superfícies dos lagos, o coeficiente de absorção 0,0 também foi validado.

Validados os parâmetros de absorção, a única variável referente às condições físicas do Campus para validação do modelo final, se resume ao coeficiente de absorção para as áreas de vegetação densa. Para isso, os modelos 9 e 11 foram configurados com coeficiente de absorção 0,9 e 1,0, respectivamente.

Através do resumo das diferenças dos modelos 9 e 11, percebe-se que, mesmo com diferenças bastante pequenas, o comportamento do modelo com maior coeficiente de absorção se mantém igual às análises anteriores. Através da

sobreposição do modelo 11 sobre o 9, percebe-se diferenças mínimas, na forma das curvas isofônicas.

Nesta análise, tanto o modelo 9, quanto o modelo 11, poderiam ser considerados modelos consistentes e representativos à realidade do Campus. Neste sentido, adotou-se o modelo 9 para análise final devido ao menor coeficiente de absorção utilizado. Visto o artifício utilizado para compensar os efeitos atenuantes da vegetação, torna-se difícil quantificar e equiparar tal contribuição à real atenuação presente no Campus. Por este motivo, evitou-se a adoção do coeficiente máximo.

Durante toda a etapa de validação dos modelos gerados, as variáveis avaliadas se referiam às condições físicas do Campus. Os dados referentes ao tráfego de veículos na Avenida Unisinos, vias internas e modelagem do ruído nos estacionamentos, não foram alterados. No entanto, somente no modelo 10, alterou-se a modelagem do ruído nas áreas de estacionamentos. Os parâmetros de rotatividade mantiveram-se os mesmos, havendo alteração apenas da norma de cálculo. Para efeito de demonstração da variabilidade dos dados de saída que o programa pode fornecer, neste modelo, optou-se pela utilização da norma Alemã RLS-90, uma vez que todos os demais modelos foram avaliados com o estudo LfU 2007.

Seguindo o padrão identificado nos modelos anteriores, nas regiões próximas às vias, o modelo 10, apresenta decaimento similar aos demais. Configurado com coeficiente de absorção geral de 0,5, o modelo apresenta nas áreas centrais, diferenças devido a menor absorção do solo. No entanto, nas áreas de estacionamentos, o modelo apresenta faixas de níveis de pressão sonora mais altas. Os níveis gerados nos estacionamentos contribuem para a formação de um novo cenário de curvas isofônicas.

Nota-se também que, o modelo 10, é o único em que o ponto de maior diferença positiva não ocorre no ponto 18. No mesmo, a maior diferença positiva ocorre justamente em região de estacionamento, no ponto 48, sendo esta, a maior diferença positiva registrada até o momento.

Nas Figuras 64, 65 e 66, são apresentados os modelos 9, 10 e 11, respectivamente. Na Figura 67 é apresentada a sobreposição do modelo 10 sobre o 9, na Figura 68 a sobreposição do modelo 11 sobre o 9 e na Figura 69 a sobreposição do modelo 11 sobre o 10.

Figura 64 – Mapa modelo 9

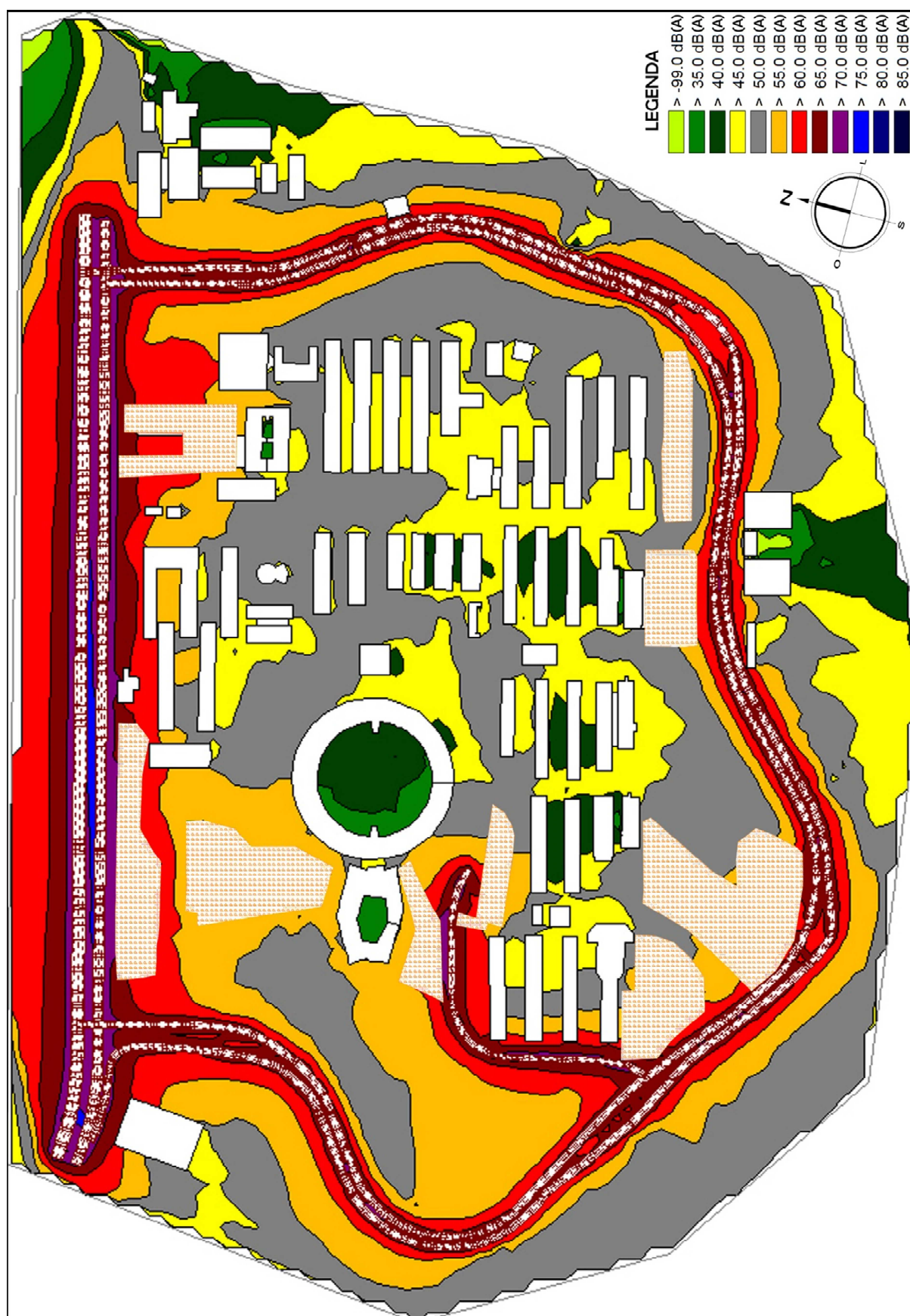


Figura 65 – Mapa modelo 10

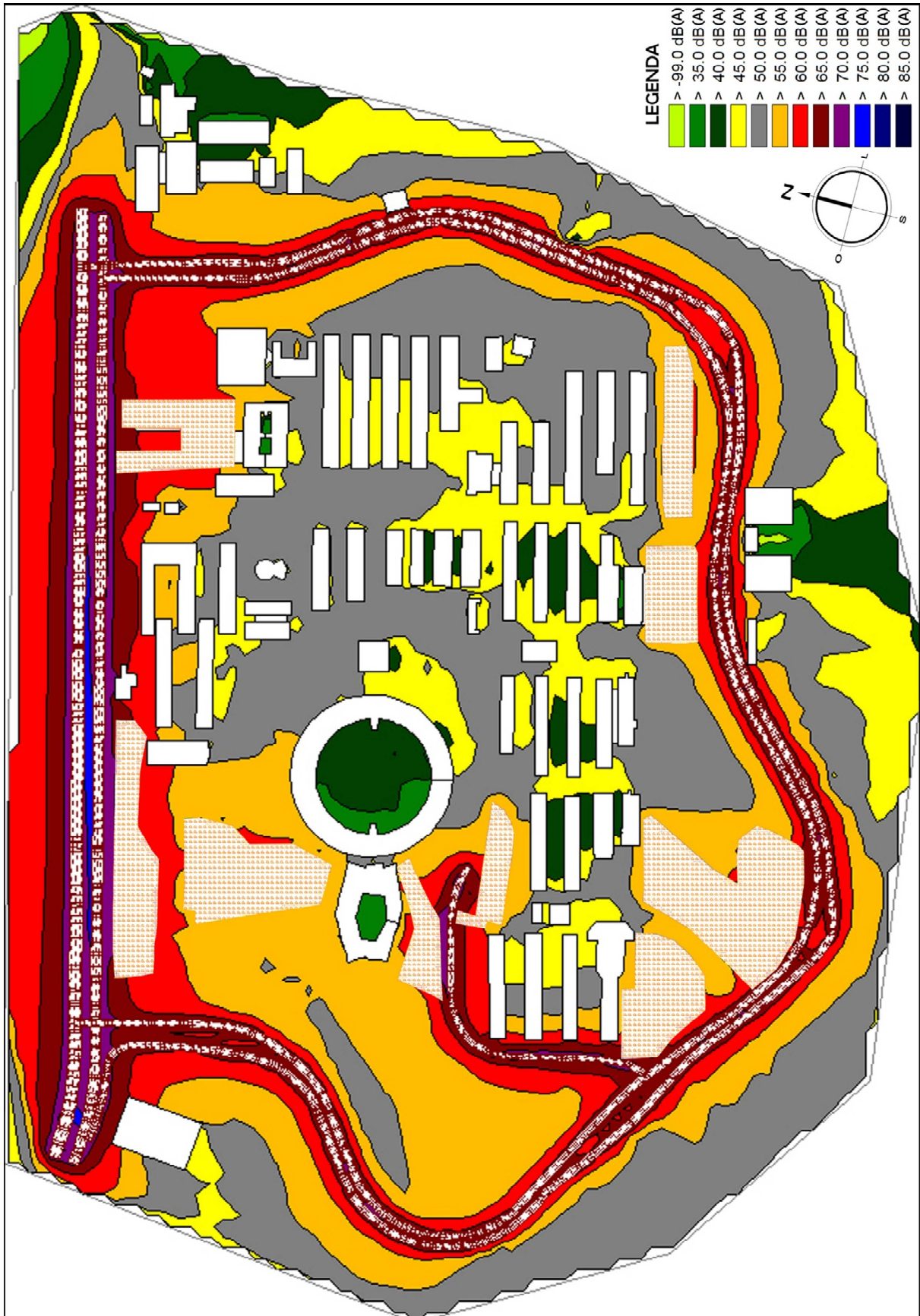
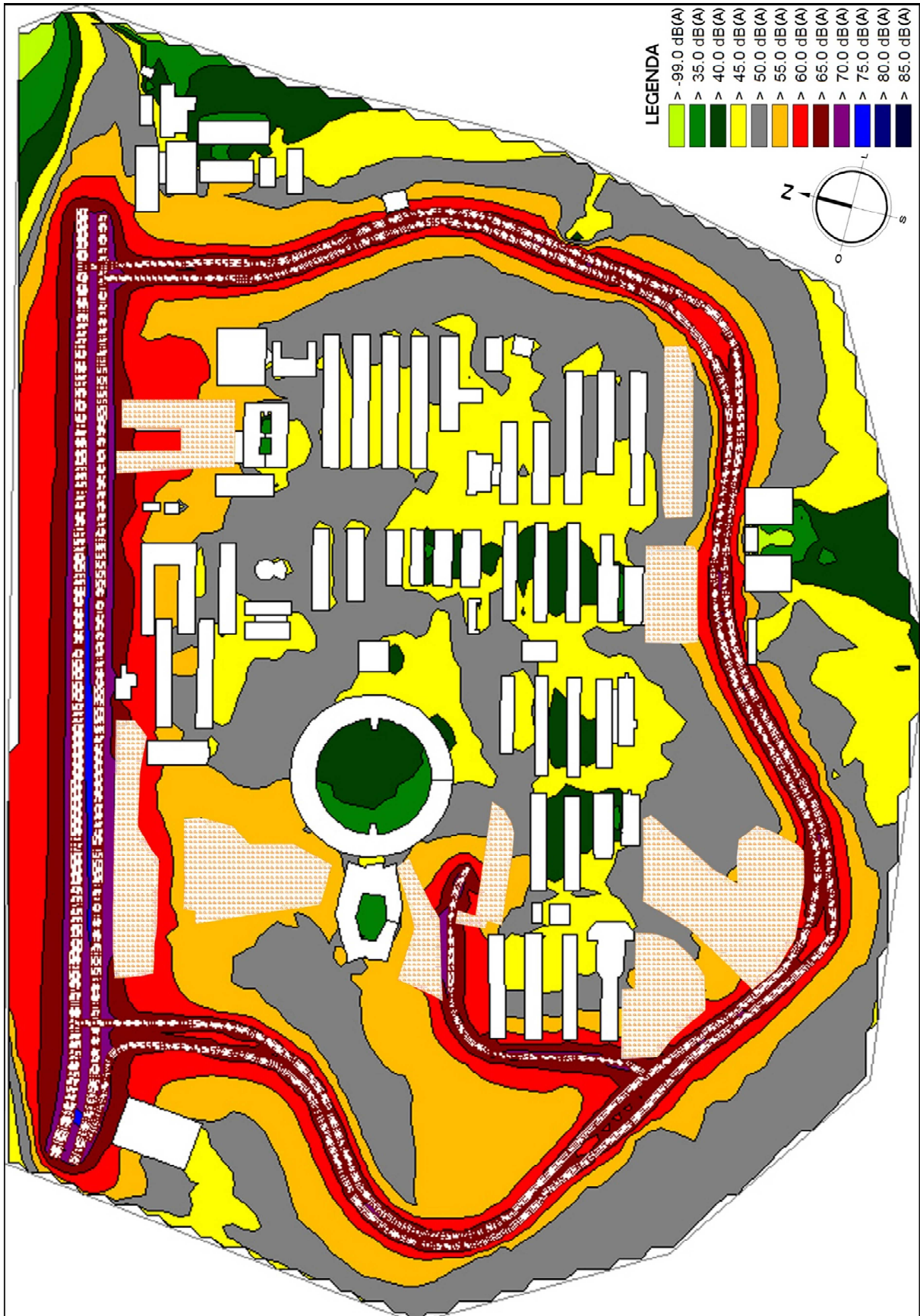
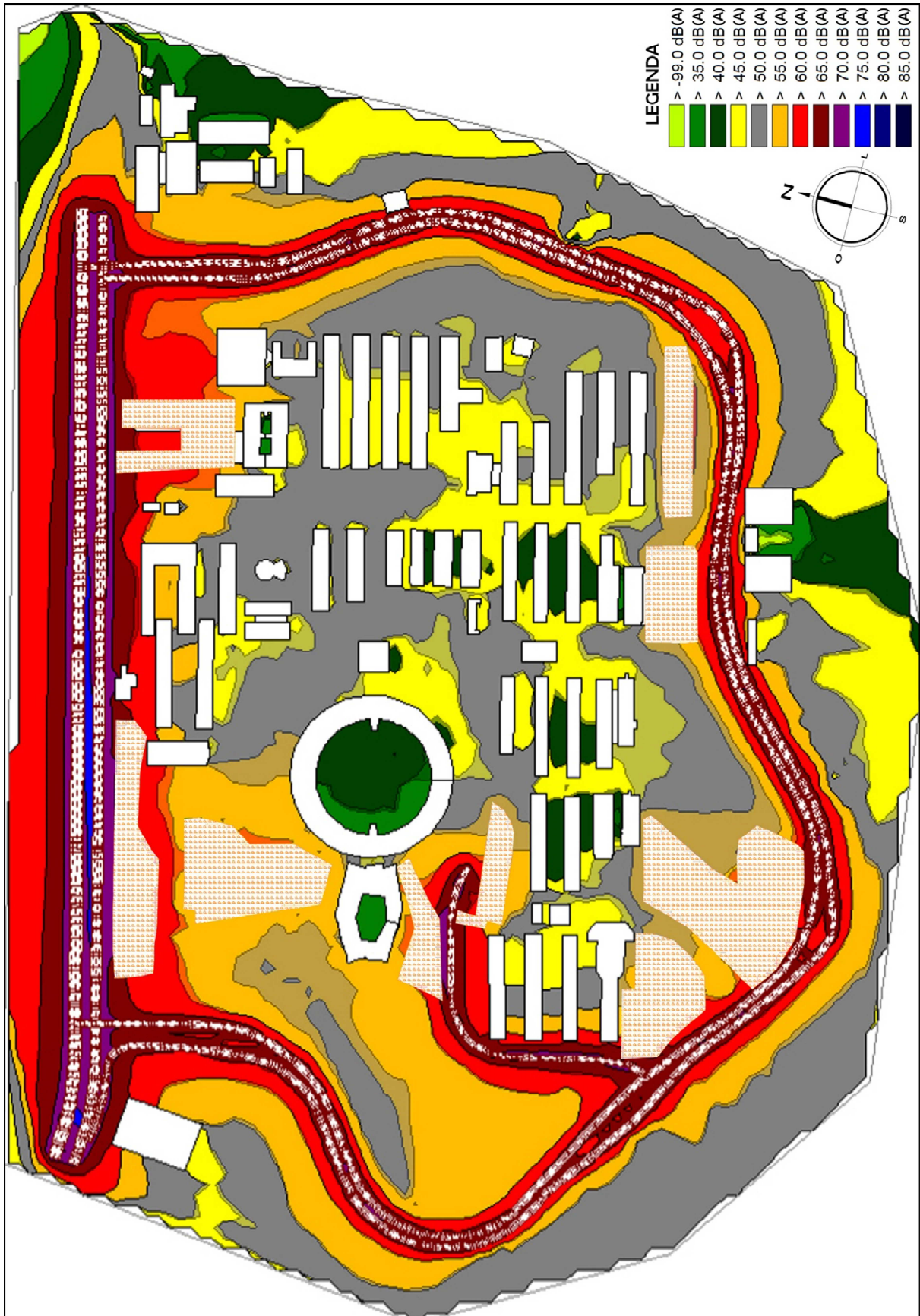


Figura 66 – Mapa modelo 11



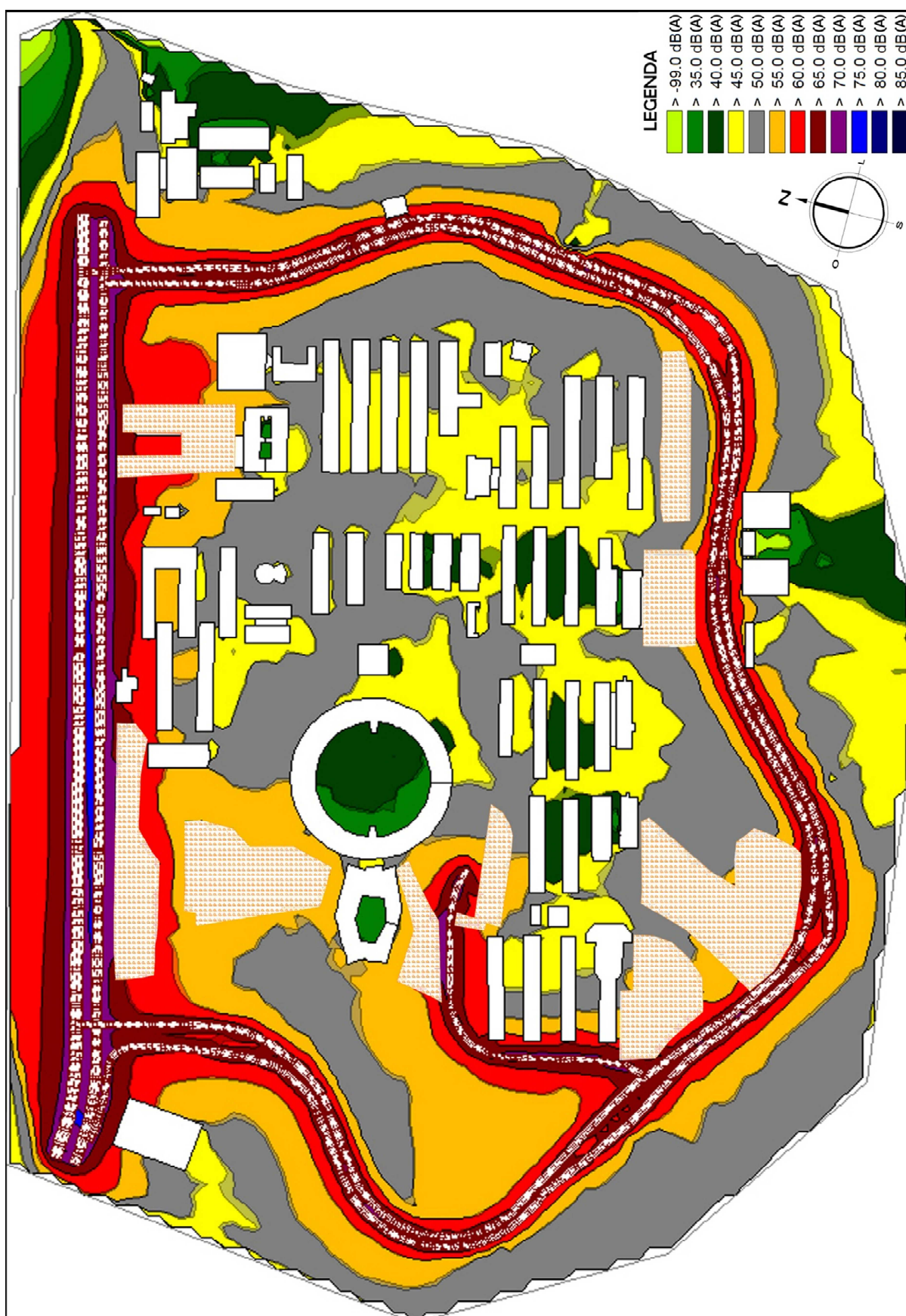
Fonte: Autor

Figura 67 – Sobreposição modelo 10 sobre 9



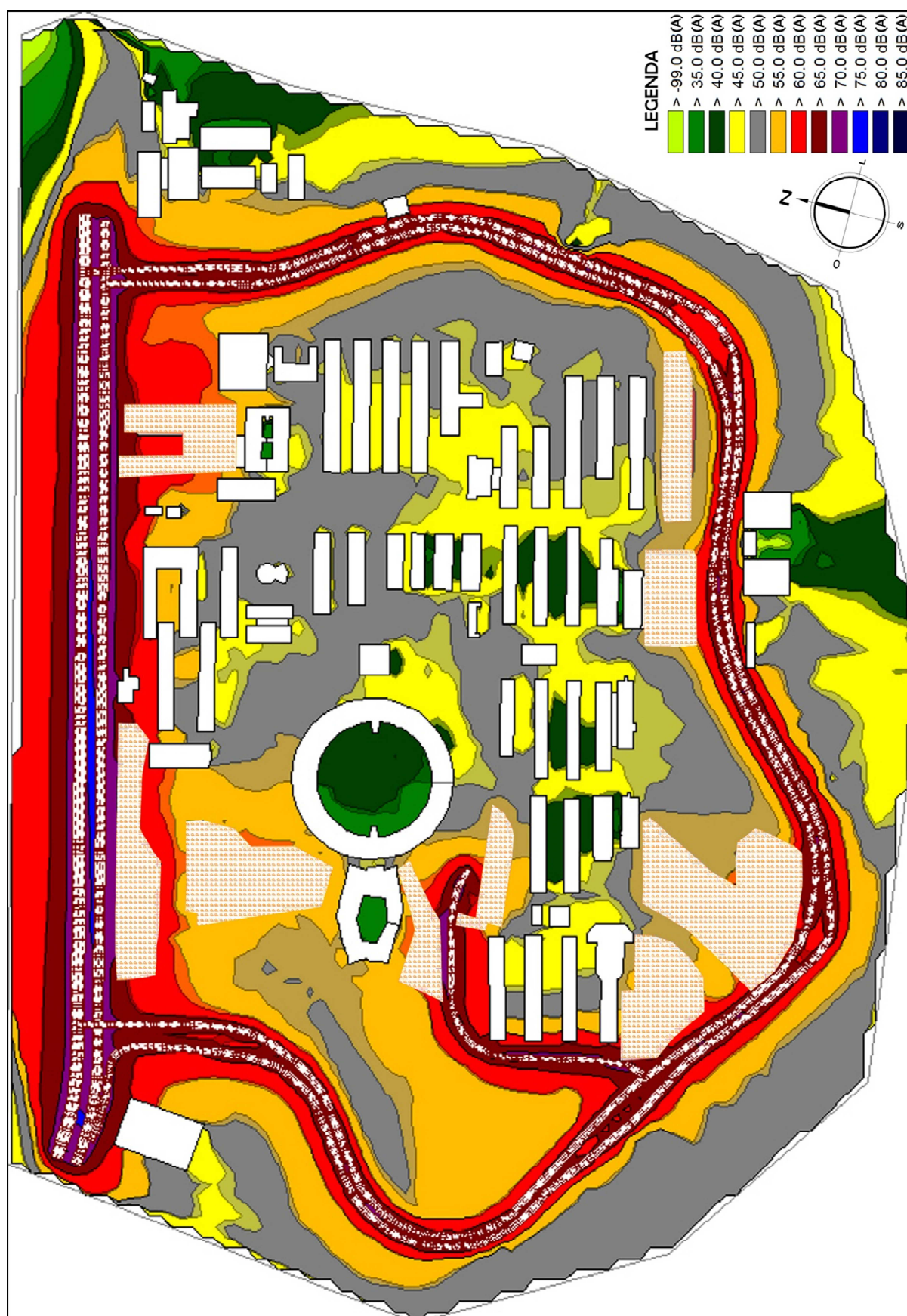
Fonte: Autor

Figura 68 – Sobreposição modelo 11 sobre 9



Fonte: Autor

Figura 69 – Sobreposição modelo 11 sobre 10



Fonte: Autor

Através da análise dos mapas, percebe-se que a utilização da norma alemã para configuração dos estacionamentos, mudou significativamente os níveis de pressão sonora do modelo 10. Associado ao coeficiente de absorção menor para as áreas de vegetação densa, o mapa apresentou uma condição sonora superestimada, frente aos resultados coletados em campo.

Através das sobreposições dos modelos 10 sobre 9 e 11 sobre 10, é evidente a formação de curvas isofônicas com maiores níveis de pressão sonora nas áreas de estacionamentos e suas proximidades, para o modelo 10. Percebe-se também que, apesar de ambos os modelos apresentarem níveis de pressão sonora para as áreas abertas na parte central do Campus na faixa de 50 a 55 dB(A), para o modelo 10, estas áreas são maiores. Para as áreas próximas às edificações, percebe-se que os mapas apresentam menores diferenças. Em ambos os mapas, para estas áreas, os níveis estão na faixa de 45 a 50 dB(A).

Nesta análise, percebe-se que a mudança do método de cálculo dos níveis gerados por estacionamentos alterou de forma significativa o ambiente sonoro do Campus, principalmente, em áreas abertas.

Através da sobreposição do modelo 11 sobre 9, nota-se que os modelos apresentam um comportamento bastante similar, com mudanças perceptíveis apenas em algumas regiões do Campus.

4.2.5 Resultados análise 5

Findadas todas as etapas supracitadas, na análise 5, é realizada a validação do modelo final do Campus. Definidos todos os parâmetros físicos do modelo, fez-se a avaliação dos resultados frente a configurações de cálculo, como o número de ordens de reflexão e o tamanho da malha de cálculo. Para isso, levou-se em consideração os parâmetros recomendados pela APA, visto a escala do presente trabalho.

A partir do modelo 9, gerou-se dois novos modelos, configurados com ordem de reflexão igual a 2, sendo um deles com malha de cálculo de 10 x 10 m e outro com malha de cálculo de 5 x 5 m.

Tais mudanças contribuíram significativamente no tempo de cálculo despendido para a elaboração dos mapas.

Para o modelo 12, na Figura 70, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 71, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo. Os resultados do modelo 9 foram apresentados na análise 4.

Figura 70 – Comparativo modelo 12

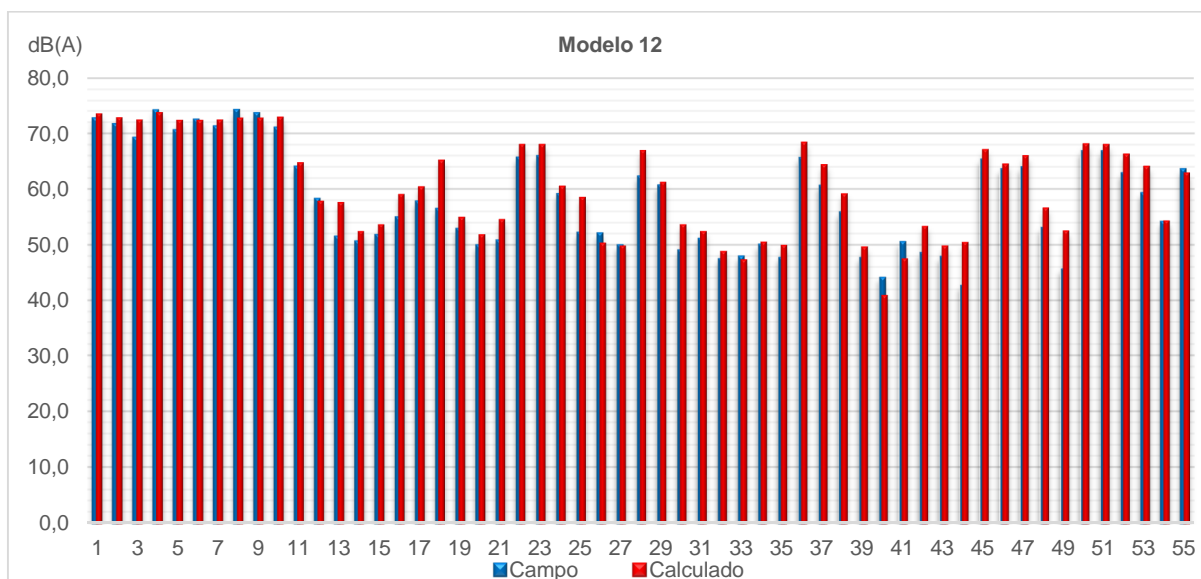
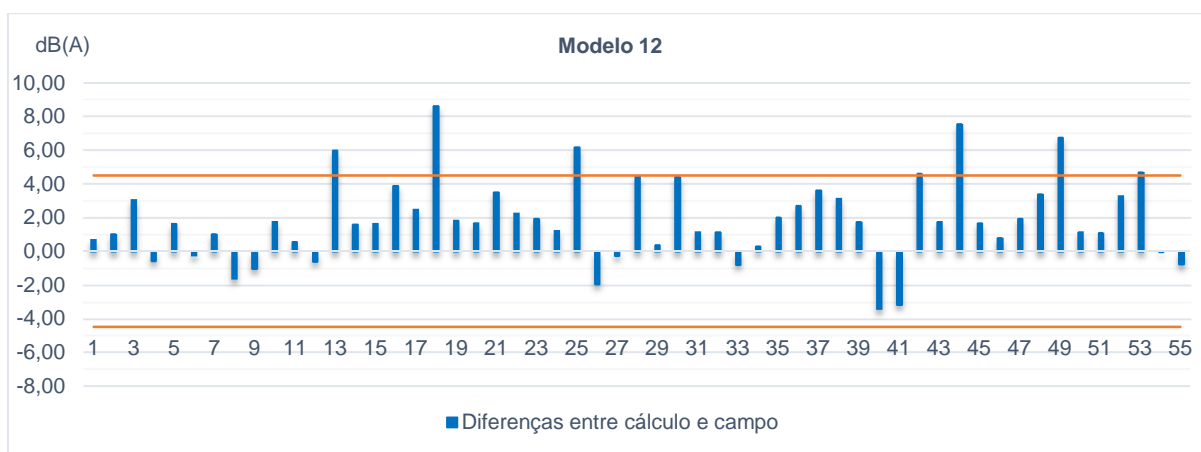


Figura 71 – Diferenças modelo 12



Em uma análise inicial do modelo 12, nota-se que dos 55 pontos analisados, 43 apresentam diferenças positivas e 12 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 7 pontos acima do limite estabelecido, sendo todos eles com diferenças positivas. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,62 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -3,38 dB(A). Não houve diferença negativa acima do limite estabelecido para validação.

Para o modelo 13, na Figura 72, é apresentado o gráfico do comparativo dos resultados calculados e os dados de campo e, na Figura 73, é apresentada a diferença entre os resultados calculados e de campo.

Figura 72 – Comparativo modelo 13

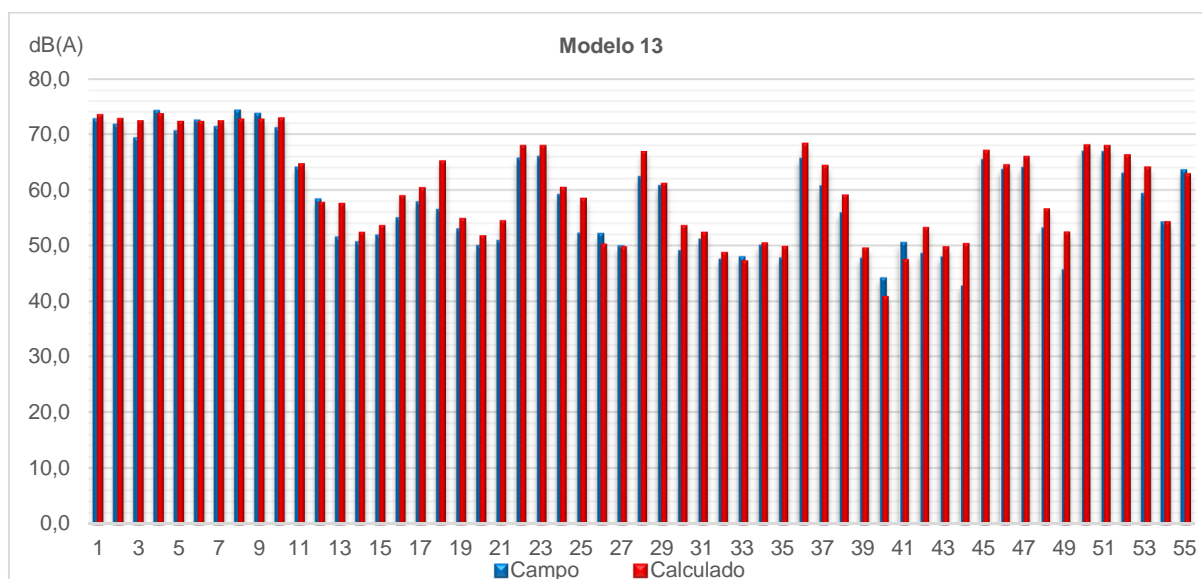
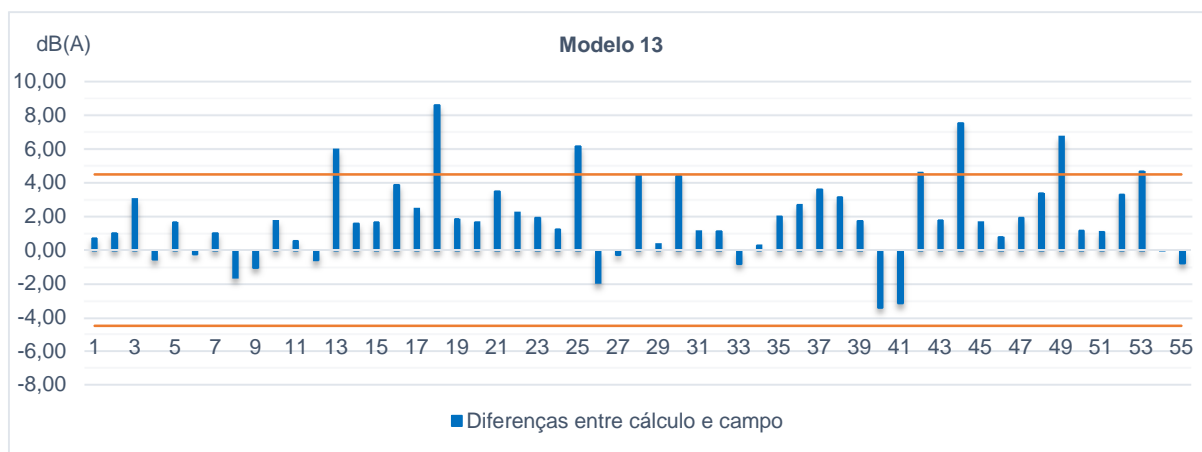


Figura 73 – Diferenças modelo 13



Em uma análise inicial do modelo 13, nota-se que dos 55 pontos analisados, 43 apresentam diferenças positivas e 12 apresentam diferenças negativas. Através do gráfico das diferenças, percebe-se que o modelo apresentou 7 pontos acima do limite estabelecido, sendo todos eles com diferenças positivas. A maior diferença positiva ocorre no ponto 18, com 8,62 dB(A) e a maior diferença negativa ocorre no ponto 40, com -3,38 dB(A). Não houve diferença negativa acima do limite estabelecido para validação.

Da mesma forma em que os resultados foram apresentados nas análises 1, 2, 3, 4, na Tabela 18 são apresentadas as diferenças entre os resultados simulados e de campo. Os valores que apresentarem diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 18 – Resumo das diferenças análise 5

Pontos	Modelo 9	Modelo 12	Modelo 13
1	0,82	0,72	0,72
2	1,04	1,04	1,04
3	3,17	3,07	3,07
4	-0,45	-0,55	-0,55
5	1,67	1,67	1,67
6	-0,23	-0,23	-0,23
7	1,05	1,05	1,05
8	-1,61	-1,61	-1,61
9	-0,92	-1,02	-1,02
10	1,78	1,78	1,78
11	0,78	0,58	0,58
12	-0,19	-0,59	-0,59
13	6,19	5,99	5,99
14	1,23	1,63	1,63
15	0,87	1,67	1,67
16	4,21	3,91	3,91
17	2,70	2,50	2,50
18	8,62	8,62	8,62
19	2,06	1,86	1,86
20	1,70	1,70	1,70
21	2,73	3,53	3,53
22	2,37	2,27	2,27
23	2,06	1,96	1,96
24	1,36	1,26	1,26
25	6,29	6,19	6,19
26	-1,62	-1,92	-1,92
27	-0,56	-0,26	-0,26
28	4,57	4,47	4,47
29	0,50	0,40	0,40
30	4,63	4,43	4,43
31	1,37	1,17	1,17
32	-0,23	1,17	1,17
33	-2,09	-0,79	-0,79
34	-0,68	0,32	0,32
35	2,14	2,04	2,04
36	2,62	2,72	2,72
37	3,64	3,64	3,64
38	3,36	3,16	3,16
39	1,77	1,77	1,77
40	-4,98	-3,38	-3,38
41	-5,14	-3,14	-3,14
42	4,72	4,62	4,62
43	1,79	1,79	1,79
44	7,55	7,55	7,55
45	1,69	1,69	1,69
46	0,91	0,81	0,81
47	1,75	1,95	1,95
48	3,50	3,40	3,40
49	6,75	6,75	6,75
50	1,08	1,18	1,18
51	1,02	1,12	1,12
52	3,31	3,31	3,31
53	4,79	4,69	4,69
54	0,29	-0,01	-0,01
55	-0,76	-0,76	-0,76

Fonte: Autor

A partir dos comparativos e diferenças apresentados, na Tabela 19 são expostos os resultados das análises de validação dos modelos. Também são apresentadas as diferenças máximas negativas e positivas entre calculado e campo, bem como as médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 19 – Resultados análise 5

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
5	9	0,96	2,67	2,47	-5,14	8,62	2,77	-1,50
	12	0,96	2,45	2,39	-3,38	8,62	2,72	-1,19
	13	0,96	2,45	2,39	-3,38	8,62	2,72	-1,19

Fonte: Autor

Em uma análise geral dos modelos, pode-se fazer as seguintes considerações:

No modelo 12, percebe-se que a mudança da ordem de reflexão, partindo-se do modelo 9, resultou em um modelo com diferenças mais equilibradas. Como não houve alteração física no modelo, a dificuldade de propagação que o solo impunha nas análises anteriores, devido a capacidade de absorção, não foi determinante para a mudança de resultados. Mantendo o padrão evidenciado em todos os modelos avaliados, em áreas próximas às vias, os resultados mantiveram-se bastante próximos. No entanto, em áreas próximas às edificações, percebe-se a influencia no aumento da ordem de reflexão, principalmente, nos pontos com diferenças negativas. Nas regiões de sombra acústica, os resultados apresentaram uma melhora na ordem de 2 dB(A), sendo este, o único modelo avaliado sem diferença negativa acima do limite aceitável para validação.

No modelo 13, evidencia-se que a mudança de dimensões na malha de cálculo de 10 x 10 m para 5 x 5 m, não alterou o comportamento do modelo. Isto ocorre, pois as dimensões utilizadas nos modelos anteriores, já eram suficientes para a caracterização do ambiente do Campus. Visto que a escala de trabalho se resume ao Campus da universidade, malhas com dimensões menores seriam utilizadas somente para a investigação de áreas específicas. Neste sentido, a alteração somente contribui para uma melhor resolução das curvas isofônicas. Os 55 pontos avaliados apresentaram os mesmos níveis do modelo 12.

Analisando-se primeiramente os resultados das diferenças dos modelos 9 e 12, percebe-se que os modelos apresentam um comportamento bastante similar, com diferenças bastante próximas, principalmente, nos pontos localizados sobre as vias. Evidenciado em praticamente todas as análises anteriores, a principal condição para a formação do ambiente sonoro do Campus, é a distância entre as fontes de ruído. Nesta condição, os parâmetros de absorção do solo se mostraram determinantes para a composição das curvas isofônicas nas áreas centrais do Campus. A medida em que a distância da fonte de ruído aumenta, a imposição à propagação gerada por

diferentes coeficientes de absorção, basicamente, determina a largura das faixas dos níveis de pressão sonora. Não menos importante, as edificações do Campus também contribuem para a criação de áreas com níveis relativamente baixos.

Neste cenário, a alteração da ordem de reflexão se mostra mais claramente através da tabela de diferenças entre os modelos 9 e 12. Nota-se que as mudanças ocorrem praticamente nas áreas com presença de edificações. Nestas áreas, a alteração da ordem de reflexão implicou em um aumento nos níveis calculados, principalmente, nos pontos em que os níveis de ruído ambiente se mostraram mais relevantes do que os níveis provenientes do tráfego de veículos. Distante de fontes de ruído e protegidos por edificações, os pontos 40 e 41 apresentaram as maiores diferenças negativas em praticamente todos os modelos. Com exceção dos modelos 12 e 13, as diferenças registradas nestes pontos sempre se apresentaram fora da faixa negativa para validação.

Nas Figuras 74, 75 e 76 são apresentados os mapas dos modelos 9, 12 e 13, respectivamente. Na Figura 77 é apresentada a sobreposição do modelo 12 sobre o 9 e na Figura 78 a sobreposição do modelo 13 sobre o 12.

Figura 74 – Mapa modelo 9

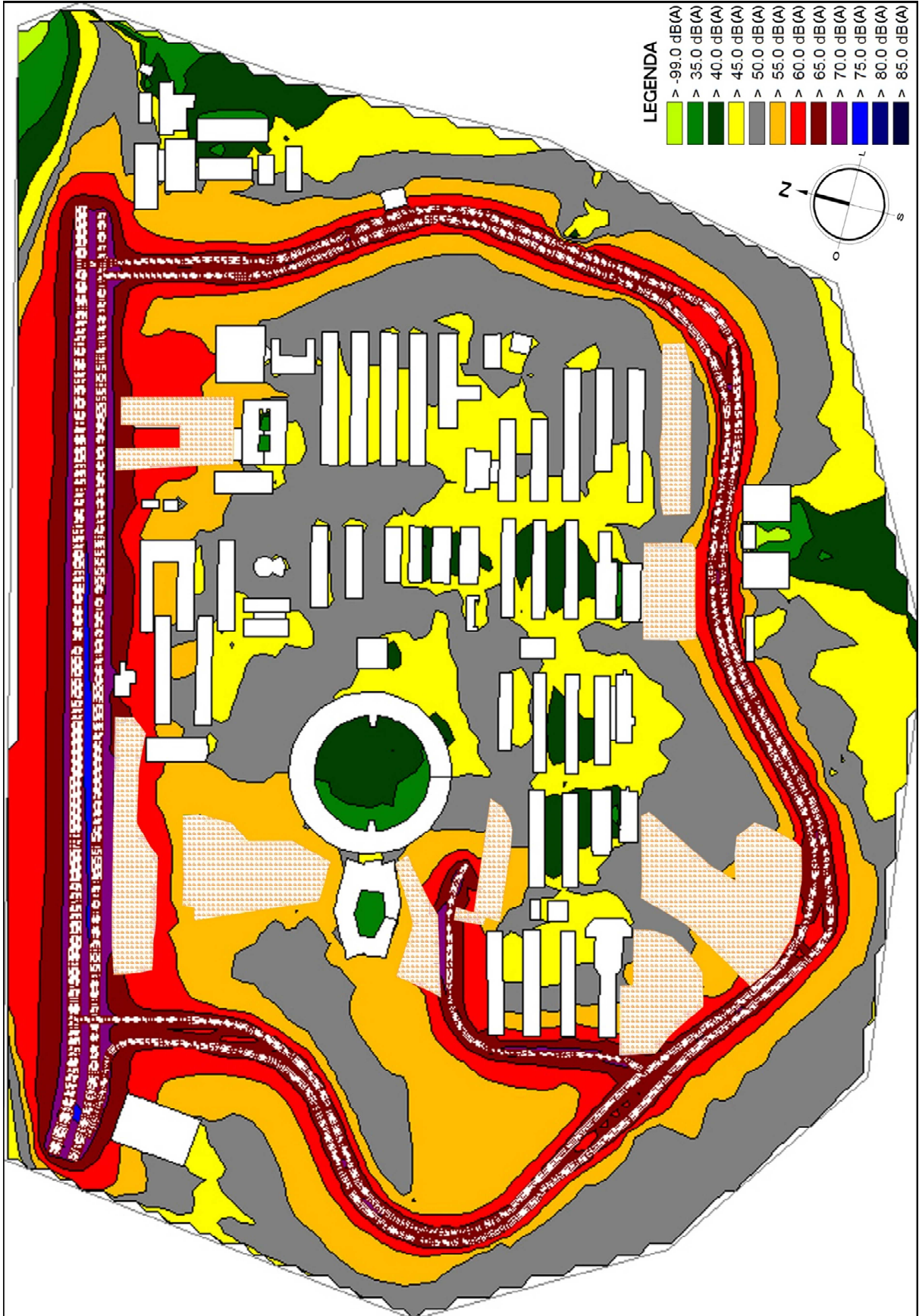
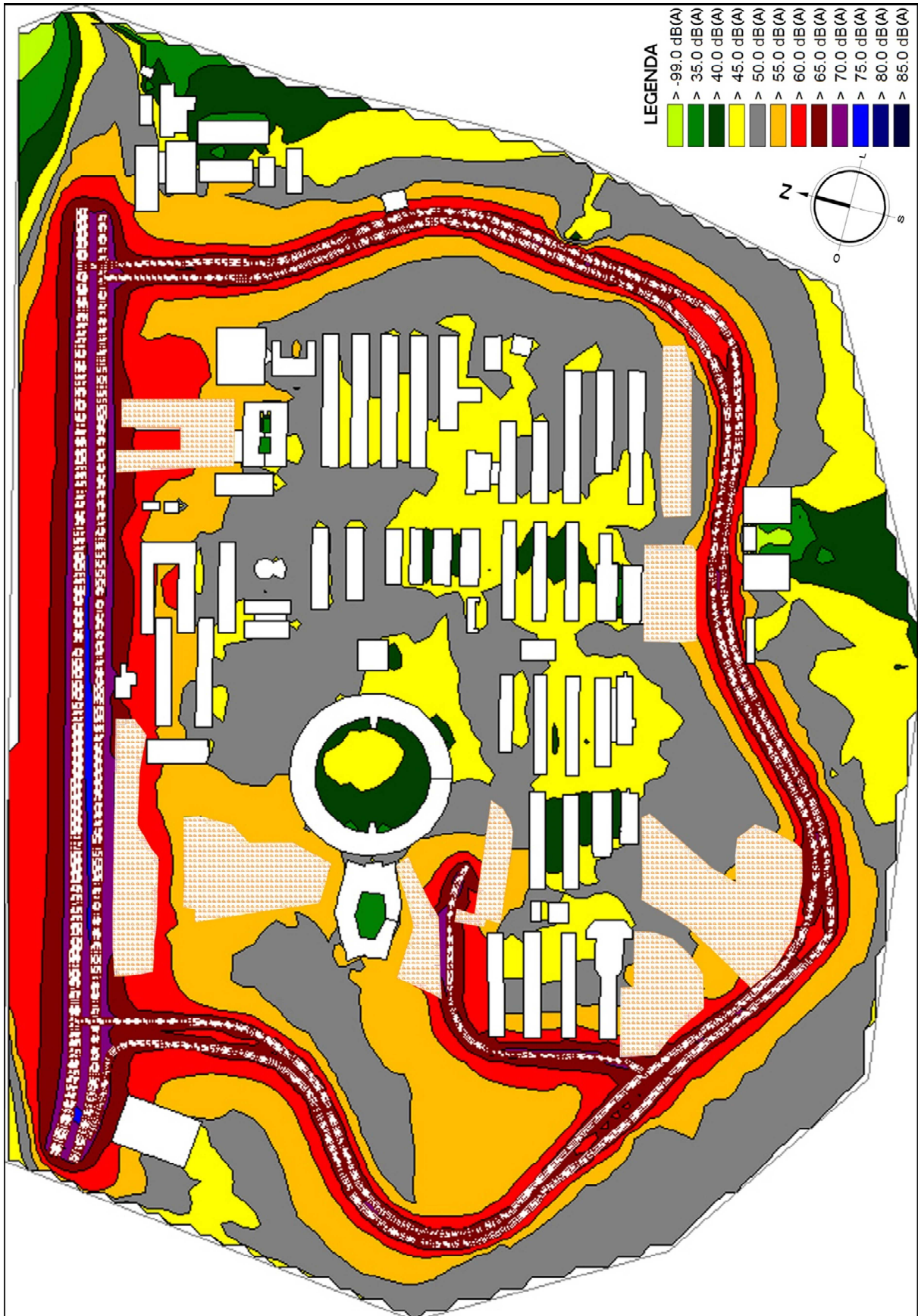
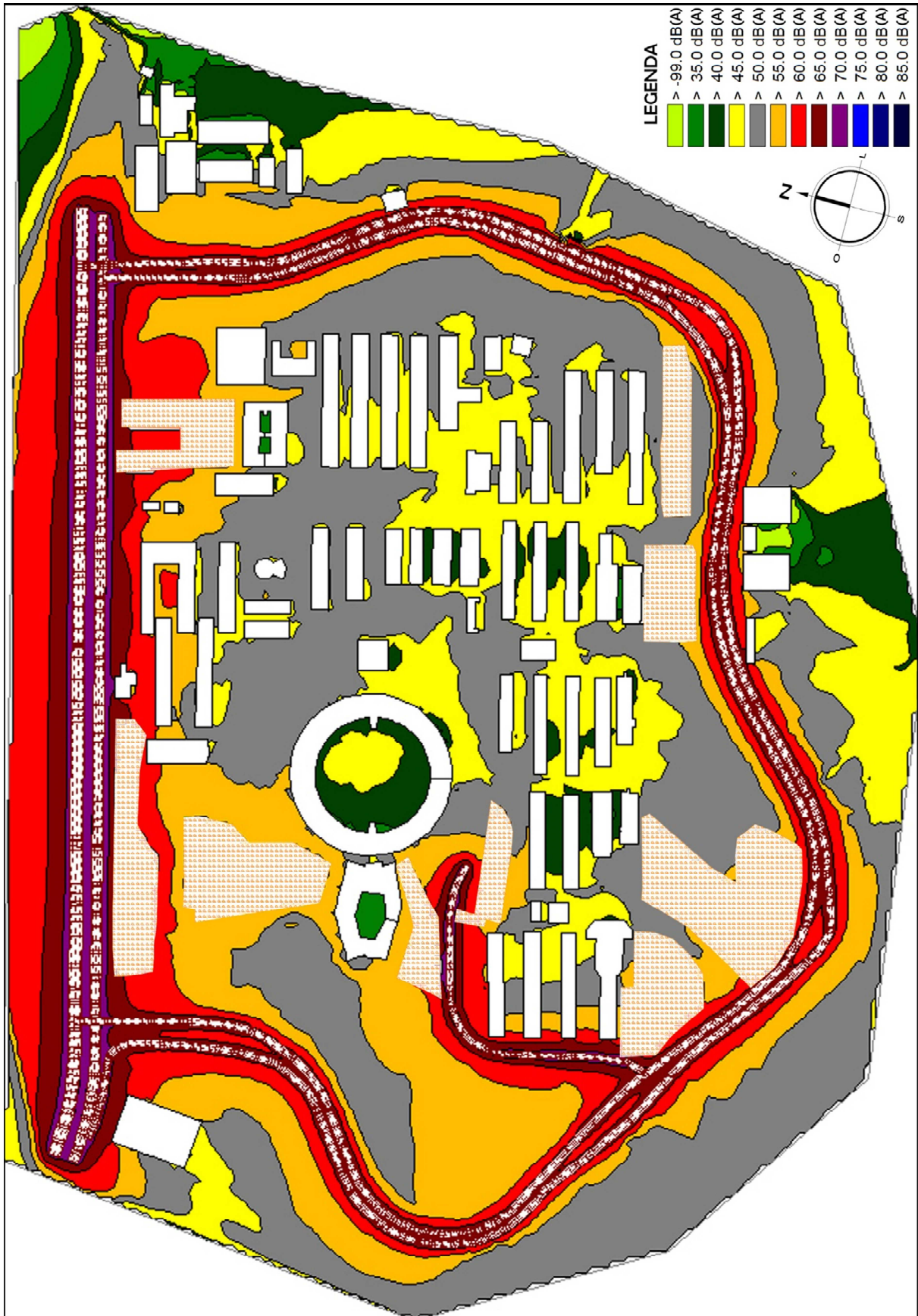


Figura 75 – Mapa modelo 12



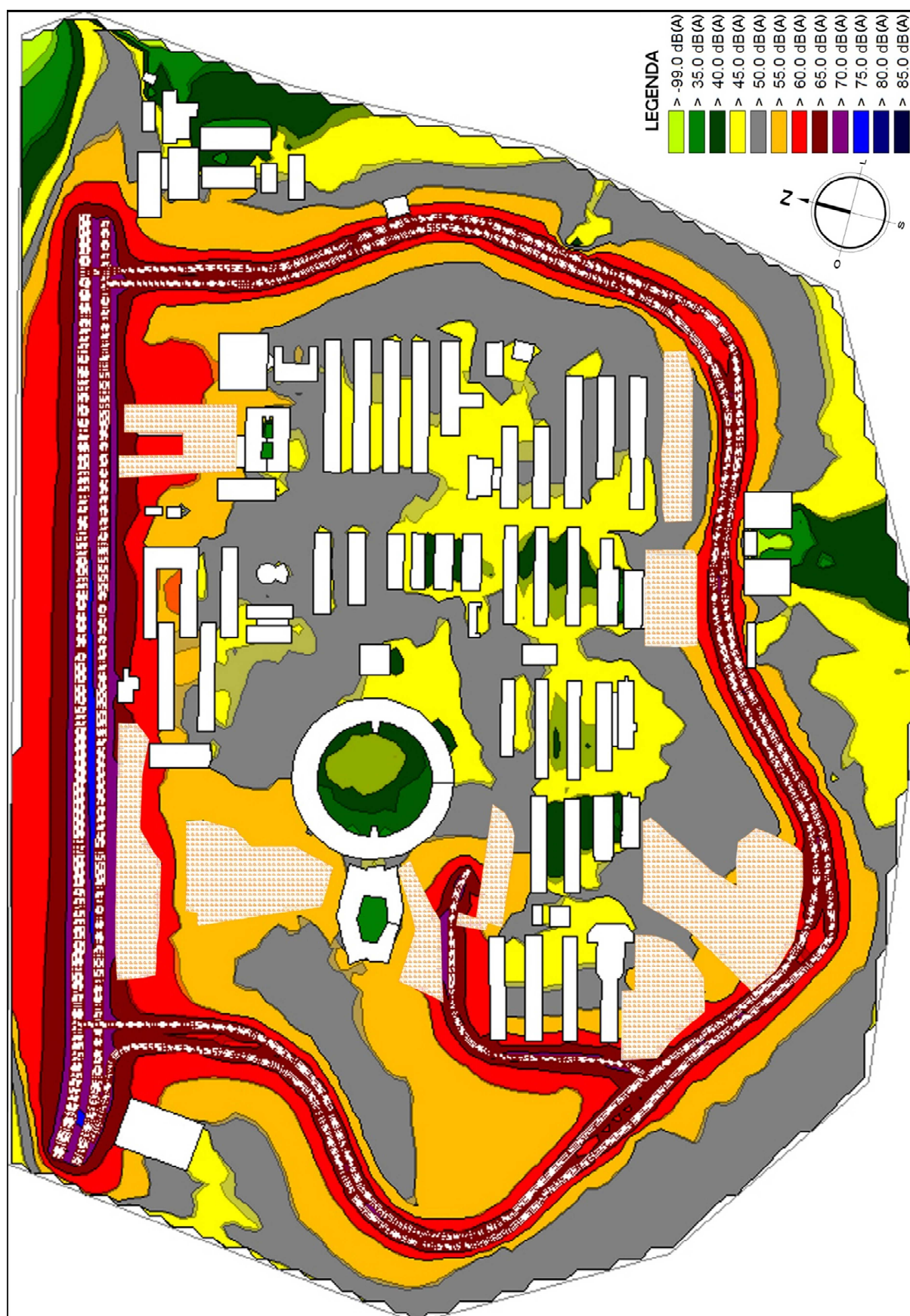
Fonte: Autor

Figura 76 – Mapa modelo 13



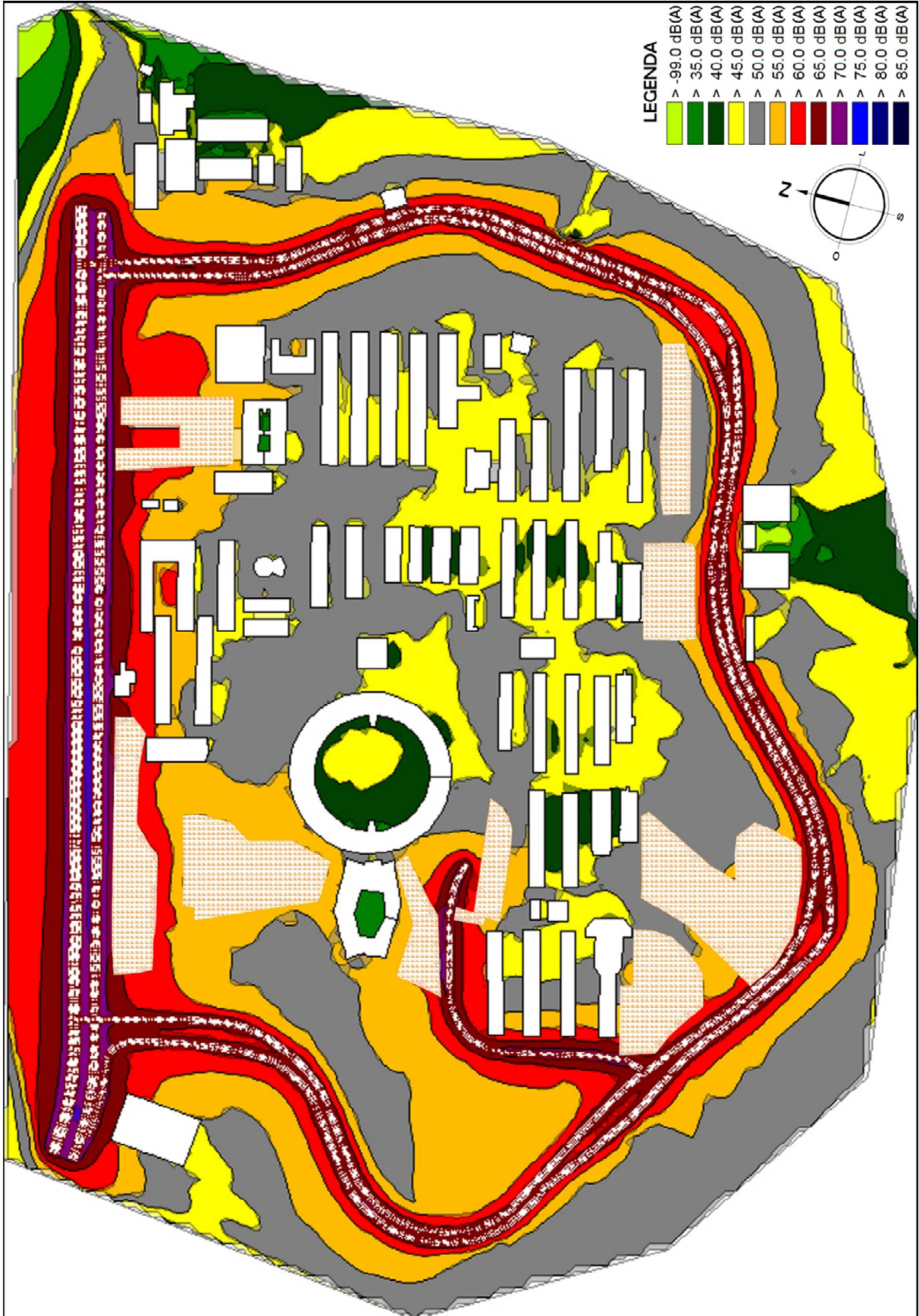
Fonte: Autor

Figura 77 – Sobreposição modelo 12 sobre 9



Fonte: Autor

Figura 78 – Sobreposição modelo 13 sobre 12



Através da análise dos mapas, e principalmente através da sobreposição dos modelos, percebe-se a influência da mudança da ordem de reflexão entre os mesmos.

Na sobreposição do modelo 12 sobre o 9, a influência da alteração da ordem de reflexão é visível, principalmente, em áreas próximas às edificações. As mudanças mais perceptíveis ocorrem nos pontos 14 e 15, situados próximo à Avenida Unisinos, nos pontos 31, 32, 33, 34, 40, 41 e 42, na área central do Campus, entre os blocos de salas de aula, e também na área central do centro administrativo.

Nestes pontos, nota-se que o modelo 12 apresentou uma tendência de elevar os níveis calculados, conseqüentemente, aumentando as diferenças positivas e diminuindo as diferenças negativas.

Em áreas abertas, os modelos se mostraram bastante similares, com sutis diferenças na formação das curvas isofônicas. Este comportamento também se repetiu nas áreas de estacionamentos.

Estas características do mapa, indicam que a alteração da ordem de reflexão interfere, principalmente, em áreas com a presença de superfícies reflexivas, como edificações ou barreiras. Para o cenário do Campus, estes efeitos contribuíram para uma melhora dos resultados, principalmente, em locais de baixa influência dos níveis de ruído provenientes de tráfego.

Através do modelo 12, evidencia-se mais uma vez, a relação entre os resultados das medições de campo e a capacidade atenuante do ambiente modelado do Campus. Perceptível em todas as análises anteriores, à medida que o coeficiente de absorção do solo varia, as diferenças entre os resultados calculado e de campo apresentam uma tendência. Com o aumento dos coeficientes gerais e das áreas de vegetação, as diferenças positivas apresentaram-se menores e as diferenças negativas maiores. Este comportamento ocorre de forma inversa com a diminuição dos coeficientes.

Isto evidencia a tendência dos mapas a resultados das diferenças apenas em um sentido, ou seja, os modelos com as maiores diferenças positivas não apresentarão as maiores diferenças negativas.

Através da sobreposição do modelo 13 sobre o 12, percebe-se que a maior diferença evidenciada é a resolução das curvas isofônicas. Com o aumento da resolução de cálculo, o modelo apresentou curvas isofônicas com contornos mais detalhados. No entanto, para a escala do presente trabalho, a mudança da malha de cálculo do modelo 12 para o modelo 13, não resultou em mudanças significativas. A

maior mudança entre os modelos foi o alto custo computacional de processamento para a geração do modelo.

4.2.6 Resultados gerais das análises

Neste item, será apresentado um comparativo geral dos modelos avaliados.

Na Tabela 20, é apresentado o comparativo dos modelos gerados, através das diferenças registradas entre os resultados simulados e os resultados de campo. Seguindo o método adotado nas análises anteriores, os pontos com diferença superior ao intervalo de $\pm 4,5$ dB(A) estão destacados.

Tabela 20 – Comparativo das diferenças

Pontos	Modelos												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,12	0,12	0,12	0,12	-0,08	-0,18	0,02	-0,58	0,82	0,82	0,78	0,72	0,72
2	0,84	0,84	0,84	0,84	0,64	0,54	0,74	0,14	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
3	2,87	2,87	2,87	2,87	2,67	2,57	2,87	2,17	3,17	3,17	3,15	3,07	3,07
4	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	-0,85	-0,95	-0,75	-1,25	-0,45	-0,45	-0,55	-0,55	-0,55
5	1,37	1,47	1,47	1,47	1,17	1,17	1,37	0,67	1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
6	-0,63	-0,53	-0,53	-0,53	-0,73	-0,83	-0,53	-1,23	-0,23	-0,23	-0,23	-0,23	-0,23
7	0,75	0,85	0,85	0,75	0,55	0,45	0,75	0,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
8	-1,81	-1,81	-1,81	-1,81	-2,01	-2,11	-1,91	-2,51	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61	-1,61
9	-1,22	-1,22	-1,22	-1,22	-1,42	-1,52	-1,22	-1,92	-0,92	-0,92	-1,00	-1,02	-1,02
10	1,58	1,58	1,58	1,58	1,38	1,28	1,48	0,88	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
11	-0,32	-0,22	-0,22	-0,22	-0,72	-0,92	-0,42	-1,82	0,78	0,88	0,68	0,58	0,58
12	-1,19	-1,19	-1,19	-0,89	-2,49	-2,99	-1,59	-7,59	-0,19	1,61	-0,29	-0,59	-0,59
13	5,09	5,79	5,79	5,49	4,29	3,89	5,29	-0,11	6,19	7,89	6,09	5,99	5,99
14	-3,17	1,03	1,03	0,93	-0,27	-0,67	0,73	-5,27	1,23	1,43	0,83	1,63	1,63
15	-3,93	1,17	1,17	1,17	0,57	-0,13	1,57	-6,03	0,87	1,07	0,67	1,67	1,67
16	3,31	3,91	3,91	3,91	2,91	2,01	3,11	-0,59	4,21	4,51	4,11	3,91	3,91
17	0,70	1,60	1,60	1,80	1,00	0,70	1,60	-1,20	2,70	3,40	2,60	2,50	2,50
18	8,42	8,42	8,42	8,32	8,12	8,02	8,32	7,52	8,62	8,72	8,62	8,62	8,62
19	0,36	1,36	1,36	1,06	0,06	-0,34	1,16	-5,04	2,06	2,96	1,86	1,86	1,86
20	1,70	2,00	2,00	1,50	1,00	0,80	1,80	-1,40	1,70	2,20	1,50	1,70	1,70
21	-0,77	2,43	2,43	2,33	1,53	1,23	2,73	-2,87	2,73	2,93	2,43	3,53	3,53
22	2,17	2,17	2,17	2,17	1,97	1,97	2,07	1,67	2,37	2,37	2,27	2,27	2,27
23	1,96	1,96	1,96	1,96	1,86	1,76	1,86	1,56	2,06	2,06	1,96	1,96	1,96
24	3,66	1,56	1,56	1,06	0,46	0,26	1,06	-1,44	1,36	1,46	1,16	1,26	1,26
25	5,49	6,49	6,49	6,59	5,29	4,89	5,59	3,49	6,29	7,59	6,29	6,19	6,19
26	-2,22	-1,52	-1,52	-2,12	-2,72	-2,92	-1,72	-6,02	-1,62	-1,22	-2,12	-1,92	-1,92
27	-3,06	-0,36	-0,36	-0,66	-1,06	-1,26	0,04	4,24	-0,56	-0,16	-0,66	-0,26	-0,26
28	4,37	4,37	4,37	4,37	4,27	4,17	4,37	3,97	4,57	4,57	4,57	4,47	4,47
29	1,00	-1,20	-1,20	-1,20	-1,80	-2,00	-1,50	-3,00	0,50	0,50	0,50	0,40	0,40
30	2,63	4,23	4,23	4,43	3,03	2,43	3,63	-0,47	4,63	5,03	4,13	4,43	4,43
31	-0,03	0,97	0,97	1,97	0,77	0,37	1,17	-1,53	1,37	3,87	1,07	1,17	1,17
32	3,57	-0,33	-0,33	-0,33	-1,03	-1,33	0,27	-6,83	-0,23	0,07	-0,53	1,17	1,17
33	-9,09	-2,49	-2,49	-2,59	-3,39	-3,69	-2,49	-7,19	-2,09	-1,89	-2,29	-0,79	-0,79
34	-4,18	-0,68	-0,68	-0,78	-1,38	-1,68	0,02	-7,48	-0,68	-0,38	-0,88	0,32	0,32
35	2,14	2,24	2,24	1,94	1,34	1,14	2,54	-3,06	2,14	2,84	1,94	2,04	2,04
36	2,42	2,42	2,42	2,42	2,32	2,22	2,42	2,02	2,62	2,62	2,72	2,72	2,72
37	3,34	3,34	3,34	3,34	2,94	2,84	3,24	2,24	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
38	2,76	3,46	3,46	3,46	2,26	1,86	2,66	0,26	3,36	6,26	3,26	3,16	3,16
39	-0,63	0,87	0,87	1,87	0,57	-0,03	0,87	-1,83	1,77	3,97	1,57	1,77	1,77
40	-11,28	-5,18	-5,18	-5,08	-6,38	-6,78	-5,58	-9,68	-4,98	-4,08	-5,28	-3,38	-3,38
41	-9,14	-5,24	-5,24	-5,24	-5,64	-5,74	-3,84	-13,74	-5,14	-5,04	-5,34	-3,14	-3,14
42	4,32	4,82	4,82	6,12	4,82	4,32	5,22	2,62	4,72	8,02	4,52	4,62	4,62
43	-0,01	1,89	1,89	1,89	1,19	0,79	2,09	-2,41	1,79	2,39	1,49	1,79	1,79
44	6,15	7,65	7,65	7,45	6,55	6,25	7,65	2,15	7,55	8,15	7,35	7,55	7,55
45	1,49	1,49	1,49	1,49	1,39	1,29	1,39	1,09	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
46	0,41	0,41	0,41	0,41	0,11	0,01	0,31	-0,49	0,91	1,01	0,91	0,81	0,81
47	1,45	1,45	1,45	1,55	1,25	1,15	1,35	0,75	1,75	1,95	1,85	1,95	1,95
48	4,40	4,50	4,50	7,50	6,20	5,80	6,10	5,30	3,50	10,10	3,50	3,40	3,40
49	5,45	5,85	5,85	6,35	4,95	4,45	5,65	1,55	6,75	9,35	6,75	6,75	6,75
50	0,88	0,88	0,88	0,88	0,78	0,78	0,88	0,48	1,08	1,18	1,18	1,18	1,18
51	0,82	0,82	0,82	0,82	0,72	0,72	0,82	0,52	1,02	1,12	1,12	1,12	1,12
52	3,01	3,01	3,01	3,01	2,81	2,81	2,91	2,51	3,31	3,31	3,31	3,31	3,31
53	5,49	5,59	5,59	4,59	4,39	4,29	4,49	3,89	4,79	4,89	4,79	4,69	4,69
54	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21	-1,11	-1,41	-0,31	-3,81	0,29	0,39	-0,01	-0,01	-0,01
55	-1,06	-1,06	-1,06	-0,96	-1,36	-1,56	-1,16	-2,06	-0,76	-0,46	-0,76	-0,76	-0,76

Fonte: Autor

Na Tabela 21, são apresentados os resultados da correlação entre os resultados simulados e os níveis de campo, o desvio padrão das diferenças, as médias

quadráticas das diferenças entre os resultados simulados e de campo, as diferenças máximas negativas e positivas, bem como a médias positivas e negativas das diferenças.

Tabela 21 – Resumo dos resultados das análises

Análise	Modelo	Correlação	Desvio Padrão [dB(A)]	Média quadrat. das diferenças [dB(A)]	Máxima negativa [dB(A)]	Máxima positiva [dB(A)]	Média posit. das diferenças [dB(A)]	Média negat. das diferenças [dB(A)]
1	1	0,93	3,66	2,75	-11,28	8,42	2,76	-2,74
	2	0,95	2,75	2,4	-5,24	8,42	2,77	-1,50
	3	0,95	2,75	2,4	-5,24	8,42	2,77	-1,50
2	4	0,95	2,86	2,48	-5,24	8,32	2,87	-1,54
	5	0,95	2,79	2,23	-6,38	8,12	2,38	-1,91
	6	0,96	2,77	2,15	-6,78	8,02	2,33	-1,93
3	6	0,96	2,79	2,18	-6,78	8,02	2,33	-1,93
	7	0,96	2,66	2,31	-5,58	8,32	2,48	-1,77
	8	0,94	3,91	2,95	-13,74	7,52	2,16	-3,56
4	9	0,96	2,67	2,47	-5,14	8,62	2,77	-1,50
	10	0,94	3,17	2,98	-5,04	10,1	3,35	-1,49
	11	0,96	2,69	2,42	-5,34	8,62	2,74	-1,54
5	9	0,96	2,67	2,47	-5,14	8,62	2,77	-1,50
	12	0,96	2,45	2,39	-3,38	8,62	2,72	-1,19
	13	0,96	2,45	2,39	-3,38	8,62	2,72	-1,19

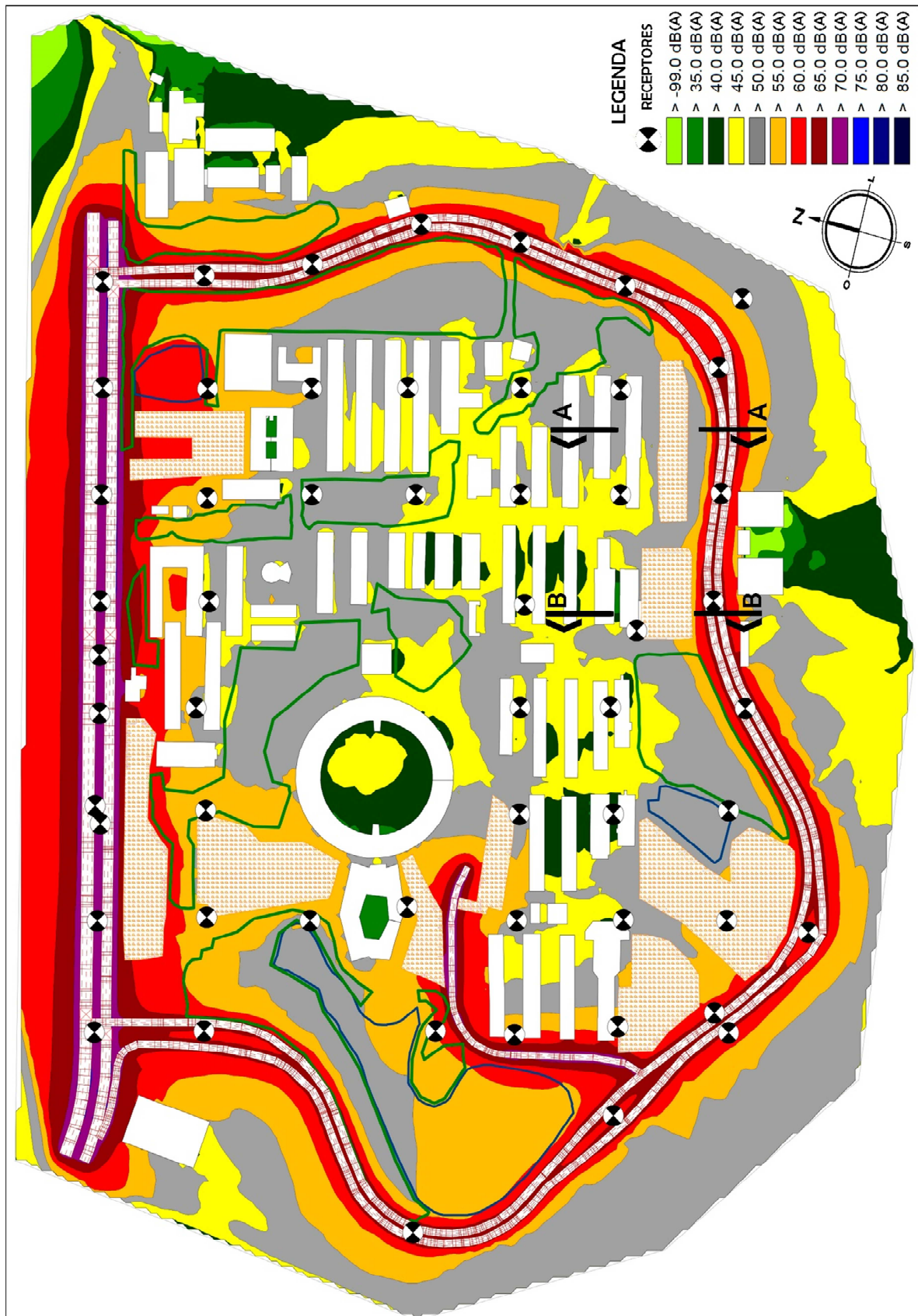
Fonte: Autor

4.3 APRESENTAÇÃO FINAL DOS MODELOS

Os mapas representam a evolução das simulações frente a diversidade de ambientes presentes no Campus. Neste sentido, findadas todas as etapas anteriores, validou-se o mapa gerado pelo modelo 13, como o modelo que melhor caracteriza o ambiente sonoro do Campus.

Na Figura 79, é apresentado o mapeamento sonoro do Campus para a condição de tráfego do mês de novembro de 2015. As áreas de vegetação densa e lagos, são representadas por polígonos de cor verde e azul, respectivamente. Também são apresentados os pontos receptores.

Figura 79 – Mapa sonoro do Campus – mês de novembro de 2015



Comumente, os mapeamentos sonoros são apresentados através de imagens em vista superior, formados por elementos bidimensionais. No entanto, os mapas são gerados a partir de modelos tridimensionais. Nestes modelos, importantes informações sobre o comportamento do ruído no ambiente e sua forma de propagação podem ser extraídas e interpretadas. Pode-se avaliá-las tanto em ambiente virtual ou através da geração de cortes perpendiculares ao ambiente modelado do Campus.

A partir do modelo final, serão apresentadas algumas ilustrações a fim de representar o cenário avaliado.

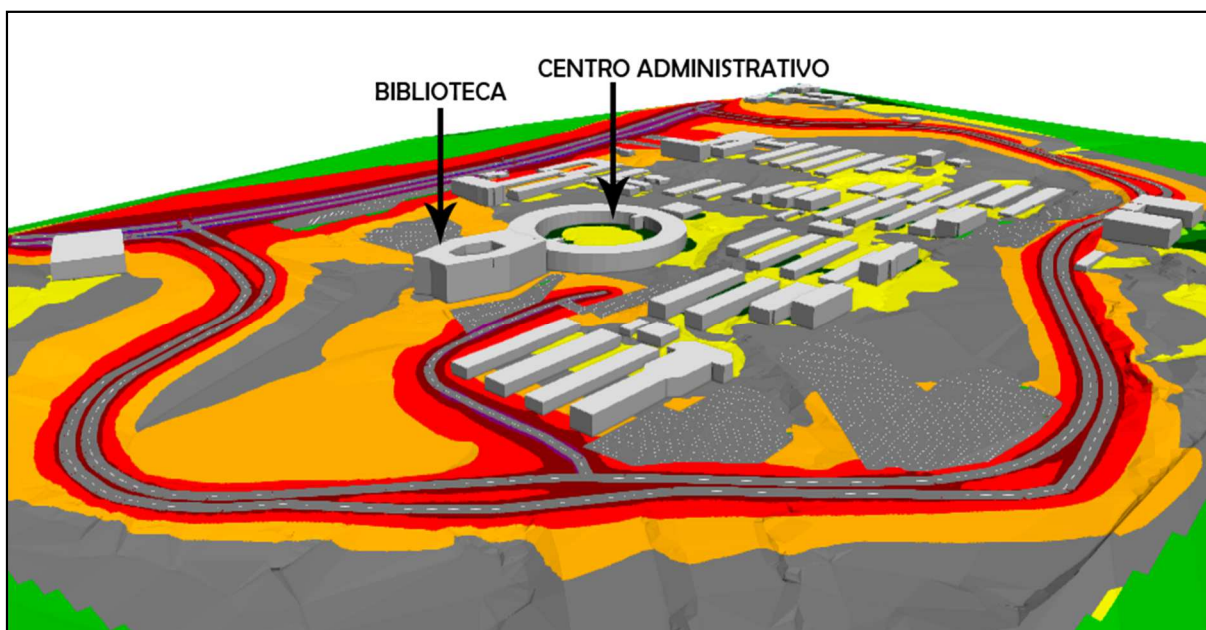
Na Figura 80, através de uma perspectiva, é apresentada a chegada ao Campus pelo seu principal acesso, a BR 116 e na Figura 81, é apresentada uma vista aérea do modelo.

Figura 80 – Mapa de ruído – acesso ao Campus



Fonte: Autor

Figura 81 – Mapa de ruído – vista aérea 1

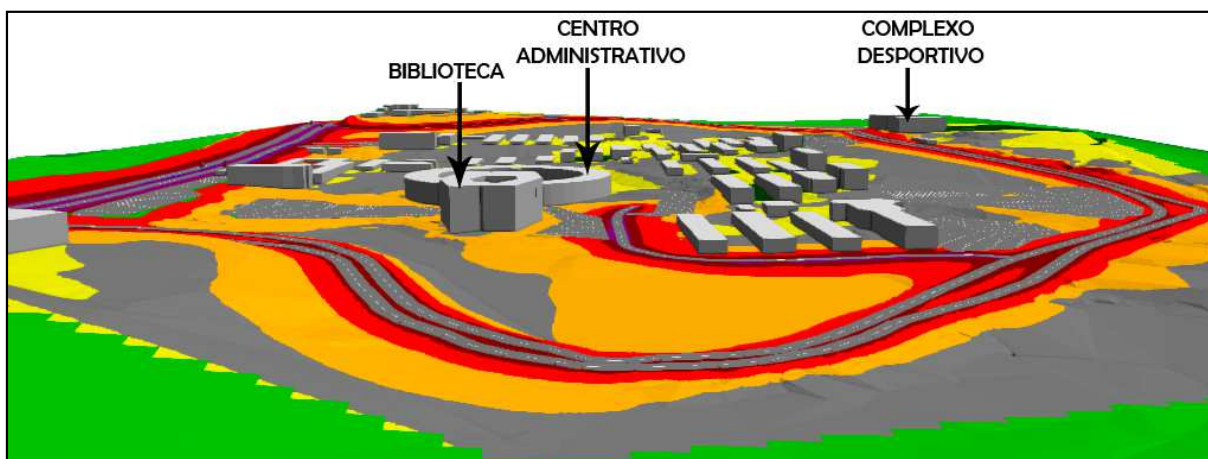


Fonte: Autor

Nestas imagens, é possível visualizar a contribuição favorável e também desfavorável do relevo à propagação sonora. Este fenômeno é evidente na região do maior lago do Campus. Nota-se que nos locais de maior diferença altimétrica entre a via e o lago, o decaimento é mais acentuado, e nos locais de menores diferenças, o decaimento ocorre em maiores distâncias. Este efeito também recebe a contribuição das características reflexivas da superfície do lago. Na Avenida Unisinos, também ocorre tal comportamento, com grandes larguras de curvas isofônicas na faixa de 60 a 65 dB(A) e 55 a 60 dB(A) nas áreas próximas aos estacionamentos, biblioteca e centro administrativo.

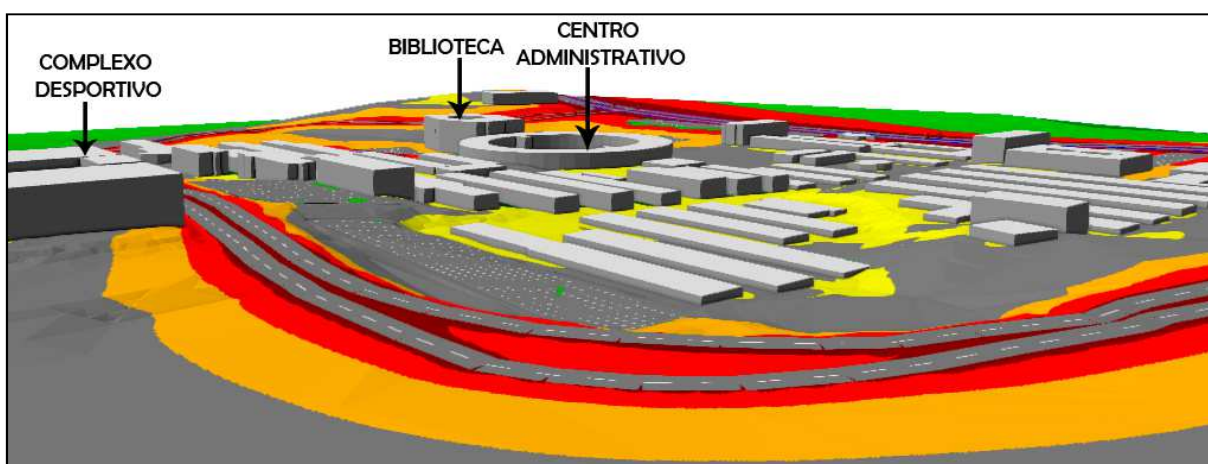
Nas Figuras 82, 83 e 84, é possível visualizar as diferentes alturas das edificações existentes no Campus, bem como a elevação da via interna próximo ao complexo desportivo.

Figura 82 – Mapa de ruído – vista aérea 2



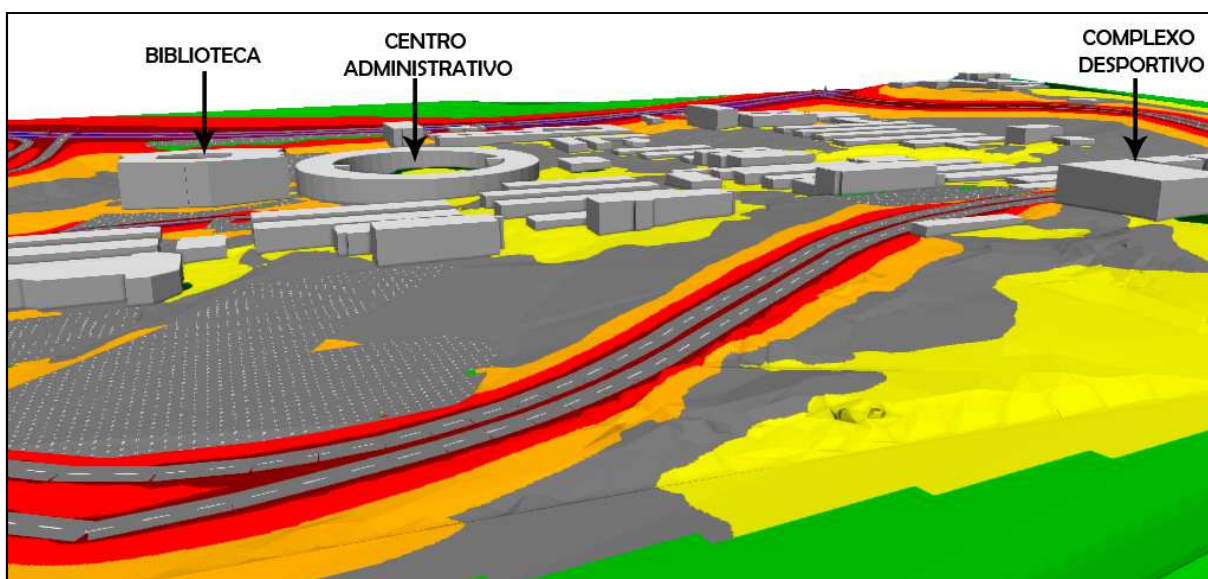
Fonte: Autor

Figura 83 – Mapa de ruído – vista aérea 3



Fonte: Autor

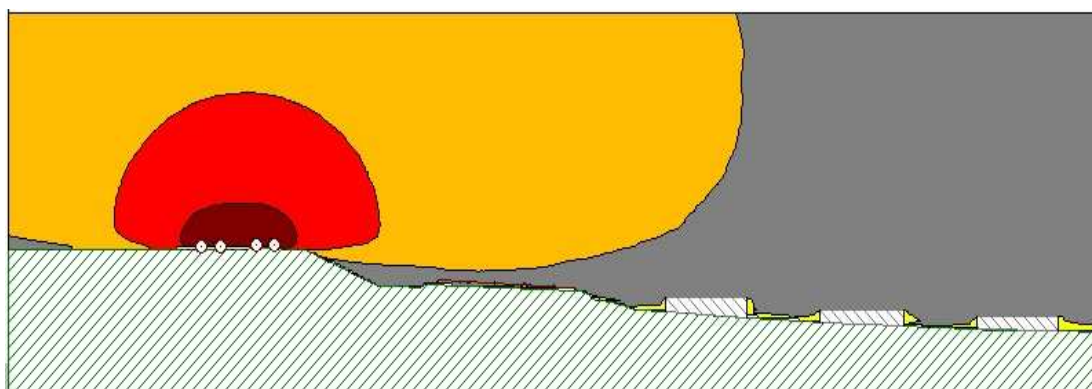
Figura 84 – Mapa de ruído – vista aérea 4



Fonte: Autor

Através de uma avaliação de cortes transversais do modelo, demarcados na Figura 79, percebe-se que o decaimento apresentado no mapa é resultante do relevo do terreno e da altura de cálculo da malha geradora do mapa. Como visto no item 3.4.8, os modelos estão configurados com uma altura de cálculo de 1,5 m. Como esta altura mantém-se constante em relação ao solo, em regiões de declive acentuado, percebe-se através da formação da curva isofônica, que a medição ocorreu em um ponto de menor nível de pressão sonora (Figura 85).

Figura 85 - Corte transversal AA

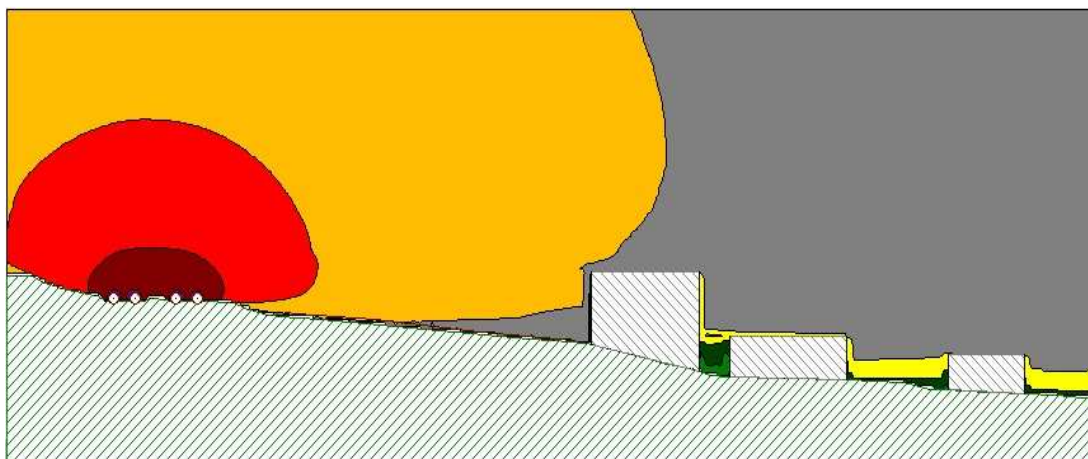


Fonte: Autor

Através destas representações é possível evidenciar a relação presente entre os resultados obtidos, a geometria do ambiente avaliado, os pontos de medição e as fontes geradoras de ruído. A partir das vias, as curvas isofônicas apresentam um decaimento de níveis equivalentes de pressão sonora em função da distância da fonte e, principalmente, na presença de edificações. Nestas circunstâncias, fica evidente a influência das edificações nos resultados de pontos de medição próximos às mesmas. Devido à proteção física, as edificações atuam como barreiras acústicas frente ao ruído proveniente do tráfego e, conseqüentemente, os níveis registrados nestes pontos tendem a ser menores. Isto também ocorre em situações de diferença altimétrica entre as vias e os pontos de medição, onde os níveis medidos, por vezes, podem ser menores em função da altura de medição.

Na Figura 86, é apresentado o corte BB. Localizado em uma região de menor declividade, percebe-se a influência das edificações para a formação de sombras acústicas.

Figura 86 - Corte transversal BB



Fonte: Autor

Na Figura 87, é apresentado o mapeamento sonoro do Campus para a condição de tráfego do mês de agosto de 2015. As áreas de vegetação densa e lagos, são representadas por polígonos de cor verde e azul, respectivamente. Também são apresentados os pontos receptores.

Figura 87 – Mapa sonoro do Campus – mês de agosto de 2015



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Em países desenvolvidos e, principalmente na Europa, a preocupação com os efeitos prejudiciais à saúde da população decorrentes da exposição ao ruído ambiente é tratada desde a década de 70. No ano de 2002, na Europa, foi instituída a Diretiva 2002/49/CE, com o intuito de identificar o cenário de exposição aos ruídos da população europeia. Esta perspectiva tem como objetivo gerar um entendimento entre os Estados-Membros sobre os efeitos do ruído à população e também da idealização de estratégias de avaliação, gerenciamento e planos de ação para minimização do ruído excessivo.

Neste cenário, no que concerne à poluição sonora, no Brasil, a preocupação com os efeitos nocivos à saúde e à qualidade de vida da população vem aumentando. No âmbito acadêmico, os pesquisadores brasileiros vêm utilizando ferramentas para identificar e quantificar os elevados níveis de ruído presentes nos médios e grandes centros urbanos.

Em escala de cidades, a preocupação existe, no entanto, está em um estágio bastante inicial. Falta, no Brasil, a adoção de políticas públicas que extrapolem os limites das edificações. No ano de 2013, através da NBR 15575, condições mínimas de desempenho acústico para unidades habitacionais foram estabelecidas. A partir disto, um importante passo visando atender as exigências dos usuários foi dado. No entanto, não existe uma norma ou um guia de orientação para elaboração de mapas estratégicos de ruído. Existem apenas normas para a quantificação e avaliação de níveis de ruído externos e internos às edificações.

Nesta pesquisa, foi proposto um mapa de ruído para o Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, para o tráfego rodoviário do mês de novembro do ano de 2015, realizado através de medições de níveis de ruído, em campo, e através de simulações computacionais.

O Campus da universidade, em seu principal acesso, a Avenida Unisinos, apresenta, em período letivo, fluxo médio acima de 8.000 veículos. A avenida é responsável pela caracterização sonora às proximidades do Campus, com nível médio de pressão sonora em situação de tráfego fluído, acima de 70 dB(A). Devido as diferentes atividades que a universidade acolhe, os níveis presentes no Campus se assemelham aos níveis de centros urbanos.

Neste contexto, através deste trabalho, foi possível constatar que os mapas de ruído podem ser utilizados como importantes ferramentas para descrição do cenário sonoro, independente da escala que a população está exposta, seja em Campi universitários ou em centros urbanos

Na etapa de validação dos modelos, levando-se em consideração somente os níveis equivalentes de pressão sonora registrados nos pontos mais desfavoráveis do Campus, como Avenida Unisinos e vias internas, pode-se concluir que os resultados experimentais destes pontos, para as fontes consideradas nos modelos, são mais coerentes com a realidade acústica presente no Campus. Nestas circunstâncias, poder-se-ia comparar somente os resultados dos pontos mais expostos às fontes de ruído de tráfego, desconsiderando os demais, uma vez que as diferenças dos resultados calculados e de campo se apresentaram maiores em locais distantes de tais fontes. Nestes locais, os resultados simulados apresentam diferenças negativas consideráveis, pois os níveis de ruídos registrados são, principalmente, decorrentes das atividades internas do Campus, e não do tráfego de veículos.

O programa CadnaA mostrou-se bastante completo quanto a variedade de configurações disponíveis para a geração de mapas de ruído. Quanto aos parâmetros de cálculo avaliados, mesmo em pequenas mudanças de configuração, os dados de saída comprovaram a sensibilidade do programa. No entanto, mesmo com diversas opções, o programa apresenta algumas limitações e simplificações. No quesito vegetação, com a utilização do método de cálculo Francês NMPB Routes-96, a utilização de áreas demarcadas com o uso da ferramenta “vegetação”, não resultou em mudanças na propagação sonora entre os modelos avaliados, com e sem vegetação. Outro aspecto importante, é a falta de um campo para a inserção de motocicletas na configuração de estradas. Nestes casos, o usuário deve inseri-las calibrando-se o modelo de acordo com as condições locais avaliadas.

A contagem de veículos realizada através dos controladores eletrônicos presentes na Avenida Unisinos e das cancelas de acesso ao Campus, mostraram-se bastante eficientes. Nota-se que nos pontos localizados na Avenida Unisinos e nas vias internas ao Campus, apresentaram resultados bastante próximos das condições de medição. Ressalta-se que, tais resultados são decorrentes das condições de fluxo e modo de tráfego adotadas no programa e das condições de fluxo no momento dos registros de campo, seja ele contínuo, acelerado ou interrompido. Este fato corrobora para a correta avaliação de validação dos modelos simulados.

Deve-se levar em consideração durante a etapa de validação que, a simples comparação de dados coletados em campo com os dados de saída do programa podem, por vezes, induzir o usuário a falsos resultados. Através das análises dos treze modelos, pode-se perceber que os resultados medidos em campo devem ser cuidadosamente interpretados. Nos modelos, o ponto 18 apresentou uma diferença máxima positiva entre os resultados simulados e de campo de 8,62 dB(A). Este ponto está localizado próximo a cancela de acesso ao Campus, onde teoricamente, devido aos efeitos de desaceleração e aceleração dos veículos, não se esperava tamanha diferença. Conforme visto nas análises dos modelos, esta diferença é, provavelmente, em função do horário de medição.

Quanto a validação dos modelos gerados, pode-se fazer as seguintes conclusões:

Na análise 1, dois iniciais, mas importantes comportamentos do programa foram comprovados. No modelo 2, comprovou-se a influência da perda por reflexão promovida pelas fachadas das edificações, seguindo valores preconizados pela norma alemã RLS 90, e no modelo 3, comprovou-se a deficiência da ferramenta “vegetação”, disponível no programa para cálculo das atenuações provenientes de corpos arbóreos. Nesta análise, os modelos 2 e 3 apresentaram uma melhora, principalmente, nas diferenças negativas, decorrentes da mudança de configuração das características de fachadas das edificações.

Na análise 2, o programa CadnaA, frente a variados cenários de absorção, mostrou-se bastante propenso a diferentes resultados de saída. Nesta análise, as áreas de lagos e densas vegetações presentes no Campus, foram recriadas através da ferramenta “absorção”, disponível no programa. A utilização dos coeficientes recomendados pela ISO 9613-2, para estas áreas, no modelo 4, indicam mudança de comportamento das curvas isofônicas, frente ao modelo 2, referencial para esta análise. Nos modelos 5 e 6, evidenciou-se um padrão de diferenças decorrentes, principalmente, dos níveis equivalentes de pressão sonora registrados em campo. Como os resultados de campo são utilizados como valores de referência e, não mudam, à medida que a dificuldade à propagação do meio aumenta, os resultados com diferenças negativas tenderão a diferenças ainda maiores, ao passo que, as diferenças positivas, tenderão a diferenças menores.

Na análise 3, a variação das condições meteorológicas default, favorável e homogênea à propagação sonora, marcaram as mudanças mais significativas dentre

todas as simulações realizadas. Nesta análise, principalmente em áreas distantes de fontes de ruído, cada um dos modelos apresentou um comportamento distinto. O modelo 6, configurado com a condição default, segue as prescrições da Agência Portuguesa do Ambiente. O modelo 7, configurado com a condição favorável à propagação, caracterizou um ambiente superestimado, frente às condições locais. Já o modelo 8, configurado com a condição homogênea, apresentou um cenário bastante absorvente, com níveis bastante baixos.

Na análise 4, foram validadas todas as variáveis físicas de configuração dos modelos. Nesta análise, o modelo 9 foi considerado o modelo que melhor caracteriza os diferentes cenários de propagação presentes no Campus. Com coeficiente geral de absorção do solo em 0,5 e coeficientes distintos para lagos e vegetação densa em 0,0 e 0,9, respectivamente, o modelo é considerado calibrado às condições locais. Esta análise também serviu para a comprovação da sensibilidade do programa à diferentes métodos de cálculo. No caso dos estacionamento, a alteração do estudo LfU 2007 para a norma alemã RLS-90, resultou em um modelo com níveis superiores aos demais.

Na análise 5, validou-se o modelo representativo às condições de medição. Configurado com duas ordens de reflexão e malha de cálculo de 5 x 5 m, o modelo pode ser considerado como base de dados para a previsão de futuros cenários.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, E. S. S. **Critérios de priorização para intervenções ao nível dos PMRR**. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). **Articulação do Regulamento Geral do Ruído com os Planos Directores Municipais**. Nota Técnica. Amadora. Dezembro de 2010.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído**. Versão 3. Amadora. Dezembro de 2011.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). **Políticas – Ruído**. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=86> Acessado em: Março de 2016.
- ANDERSSON, H.; JONSSON, L.; ÖGREN, M. Property Prices and Exposure to Multiple Noise Sources: Hedonic Regression with Road and Railway Noise. **Environmental and Resource Economics**, 45, 73 – 89, 2010.
- ANDRADE, H. S.; ANDRADE, R. F. Poluição sonora urbana: percepção dos transeuntes no centro comercial de Macapá, sob foco ambiental, penal e da saúde. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito ambiental e Políticas Públicas**. Macapá, n. 4, p. 109 – 122, 2012.
- ANSAY, S. S. **Estudo da poluição sonora através do mapa de ruído na implantação do novo Campus Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná. 2013.
- ASENSIO, C.; RECUERO, M.; RUIZ, M.; AUSEJO, M.; PAVÓN, I. Self-adaptive grids for noise mapping refinement. **Applied Acoustics**, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 599-610.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151 – Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16313: Acústica – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). **NF S 31-085: Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit du trafic routie**. Saint-Denis La Plaine, 1991.

BAYERICHES LANDESAMNT FÜR UMWELTSCHUTZ (LfU). **Parking Lot Study 2007**. Bavarian Environmental Agency. Augsburg, 2007.

BENTO COELHO, J. L. “**Community Noise Ordinances**”, em Handbook of Noise and Vibration Control, Ed. Malcolm J. Crocker, John Wiley & Sons, New York, 2007.

BENTO COELHO, J. L.; FERREIRA, A. J. **Critérios para análise exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte**. Grupo de Acústica e Controlo de Ruído do Centro de análise e Processamento de Sinais (CAPS) do Instituto Superior Técnico, Lisboa. 2009.

BIES, D. A., HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 3 th Ed. Spon Press/Taylor & Francis New York 2003.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

BRASIL. **LE Nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade e Legislação Correlata. 2. ed., atual. — Brasília : Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2002.

BRASIL. **LEI Nº 6.020**, de 26 de Julho de 2006. Define os empreendimentos e atividades que dependerão de elaboração de Estudo Prévio de Impacto de Vizinhança (EIV/RIV) e dispõe sobre sua elaboração e análise, nos termos do Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257, de 10 de julho de 2001). Câmara Municipal, São Leopoldo, 2006.

BRASIL. **LEI Nº 6.463**, de 17 de dezembro de 2007. Institui o Código Municipal do Meio Ambiente e Zoneamento Ambiental e dá outras providências. Câmara Municipal, São Leopoldo, 2007.

BRASIL. **LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO**. Câmara Municipal de São Leopoldo, 2009. Disponível em: http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/download_anexo/lei_org_SL.pdf Acessado em: Setembro de 2015.

BRÜEL & KJAER. **Acoustic Noise Measurement**. 4 th edition. Denmark, 1979.

BRÜEL & KJAER. **Environmental Noise booklet**. Naerum: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.

BUCCHERI FILHO, A. T. **Qualidade ambiental no Bairro Alto da XV, Curitiba/PR**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná, 2006.

BUCCHERI FILHO, A. T.; TONETTI, E. L. Qualidade ambiental nas paisagens urbanizadas. **Revista Geografar** – Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFPR, Curitiba, v. 6, p. 23 – 54, jun./2011.

CAI, M.; ZOU, J.; XIE, J.; MA, X. Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. **Applied Acoustics**, Volume 87, January 2015, Pages 94-102

CALIXTO, A. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, 2002.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de Edificações Habitacionais – Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575:2013.** Brasília, 2013.

CANTIERI, E.; CATAI, R. E.; AGNOLETTO, R. A.; ZANQUETA, H. F. B.; CORDEIRO, A. D.; ROMANO, C. A. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR. **Revista Produção on-line.** Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, UFSC, v. X, n. I, 2010.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica,** Brasília. Thesaurus, 2006.

CIRCULAIRE 040525. **Bruit des infrastructures de transports terrestres.** Disponível em: http://www.infobruit.com/articles/circulaire_040525.pdf Acessado em: Fevereiro de 2016.

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Capítulo VI – Do Meio Ambiente. Artigo 225,** 1988.

CORTÊS, M. M.; NIEMEYER, M. L. O potencial da utilização da ferramenta de mapa de ruído em diferentes escalas de análise. **Anais...XII Encontro Nacional e VIII Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC/ELACAC.** Brasília, 2013.

COSTA, S. B.; LOURENÇO, R. W. Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, São Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment,** v. 172, p. 329 – 337, 2011.

D. LGS. Nº 194/2005. Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 194. **Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.** Gazzetta Ufficiale n. 222 de 23 de setembro de 2005. Disponível em: <http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/05194dl.htm> Acessado em: Fevereiro de 2016.

D.P.C.M. 1991 – Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 01 Marzo de 1991. **Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno** (G.U. 8 marzo 1991 n. 57). Disponível em: <http://www.minambiente.it/normative/decreto-del-presidente-del-consiglio-dei-ministri-1deg-marzo-1991-limiti-massimi-di> Acessado em: Fevereiro de 2016.

D.P.C.M. 1997 – Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14 novembre de 1997. **Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.** Gazzeta Ufficiale – Serie generale n. 280 del 1/12/97. 1997.

DATAKUSTIC GMBH. **CadnaA Reference Manual V4.6.** Greifenberg: DataKustik GmbH, 2015.

DAVIS, M.L; CORNWELL, D.A. **Introduction to environmental engineering**. 5rd ed. Boston. McGraw-Hill Higher Education. 2012.

DECRETO-LEI Nº 146/2006 – PORTUGAL. Diário da República nº 146/2006, Série I de 31 de Julho de 2006. Páginas 5433 a 5441. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 251/87 – PORTUGAL. Diário da República nº 142/1987, Série I de 24 de Junho de 1987. Páginas 2386 a 2393. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 259/2002 – PORTUGAL. Diário da República nº 271/2002, Série I-A de 23 de Novembro de 2002. Páginas 7368 a 7370. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 292/2000 – PORTUGAL. Diário da República nº 263/2000, Série I-A de 14 de Novembro de 2000. Páginas 6511 a 6520. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 293/2003 – PORTUGAL. Diário da República nº 268/2003, Série I-A de 19 de Novembro de 2003. Páginas 7895 a 7899. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 76/2002 – PORTUGAL. Diário da República nº 72/2002, Série I-A de 26 de Março de 2002. Páginas 2879 a 2910. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

DECRETO-LEI Nº 9/2007 – PORTUGAL. Diário da República nº 12/2007, Série I de 17 de Janeiro de 2007. Páginas 389 a 398. Disponível em: <https://dre.pt/> Acessado em: Março de 2016.

ENGEL, M. S. **Caracterização da poluição sonora, através de medições, mapeamento e entrevistas de percepção sonoras na Linha Verde em Curitiba – Paraná**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2012.

EPA – **U. S. Environmental Protection Agency**. Disponível em: <https://www.epa.gov/aboutepa/epa-history> Acessado em: Fevereiro de 2016.

European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WGAEN): **“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure”** – version 2, 13 January 2006. p. 1–129.

EUROPEAN COUNCIL. **The Council of the European Union**. Disponível em: <http://www.consilium.europa.eu/pt/council-eu/> Acessado em: Janeiro de 2016.

EUROPEAN UNION. **Council of the European Union**. Disponível em: http://europa.eu/about-eu/institutions-bodies/council-eu/index_pt.htm Acessado em: Janeiro de 2016.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 2000/14/EC. **On the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by**

equipment for use outdoors. Official Journal of the European Communities. 2000. N. L 162.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 2002/49/EC. **Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.** Official Journal of the European Communities. 2002. N. L 189.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 70/157/EEC. **On the approximation of the laws of the Member States relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles.** Official Journal of the European Communities. 1970. N. L 42.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 77/311/EEC. **On the approximation of the laws of the Member States relating to the driver-perceived noise level of wheeled agricultural or forestry tractors.** Official Journal of the European Communities. 1977. N. L 105.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 80/51/EEC. **On the limitation of noise emissions from subsonic aircraft.** Official Journal of the European Communities. 1979. N. L 18.

EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 92/61/EEC. **Relating to the type-approval of two or three-wheel motor vehicle.** Official Journal of the European Communities. 1992. N. L 225.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro.** 14. ed. rev., ampl. e atual. em face da Rio+20 e do novo “Código” Florestal – São Paulo: Saraiva, 2013.

FREITAS, E. **Contribuição da Superfície dos Pavimentos para a Produção de Ruído.** Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal, 2008.

FREITAS, E.; MACHADO, P.; SANTOS, J.; PEREIRA, P. Planos de ação de redução do ruído: consideração do custo benefício de superfícies de baixo ruído e do impacto de medidas de gestão da velocidade. **Anais...XVII CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DEL ASFALTO – CILA,** 2013.

FREITAS, E.; MENDONÇA, C.; SANTOS, J. A.; MURTEIRA, C.; FERREIRA, J. P. Traffic noise abatement: How different pavements, vehicle speeds and traffic densities affect annoyance levels. **Transportation Research Part D 17: Transport and Environment.** Elsevier, 2012.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle.** 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 676 p, 2000.

GITTINS, M.J.; CLAY, H.H.; BASSET, W.H. **Clay’s Handbook of environmental health.** 18 ed. London: E & FN Spon, 1999.

GIUNTA, M. B. **Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2013.

GOELZER, B., HANSEN, C. H. e G. SEHRNDDT, G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention, and Control**. Special Report S 64. Federal Institute for Occupational Safety and Health. Berlin 2001.

GOINES, L. HAGLER L. Noise Pollution: A modern Plague. **Southern Medical Journal**. Vol 100, nº 3, p. 287 – 294, March 2007.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju — Brazil, **Science of The Total Environment**, Volumes 412–413, 15 December 2011, Pages 66-76.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 5ª Edição. Editora LTC – 2003.

HANSEN, C. H. **Fundamentals of Acoustics**. Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention, and Control. Special Report S 64. Federal Institute for Occupational Safety and Health. Berlin 2001.

HARRIS, C. M. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1646 p., 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores sociais municipais**: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=431870> Acessado em: novembro de 2015.

INSTITUTO DA AMBIENTE. **Exposição da População a Ruído Ambiente**. Edição eletrônica, Dezembro de 2006. Disponível em: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/SituacaoNacional/Exp_Pop_Ruid_Amb.pdf Acessado em: Março de 2016.

INSTITUTO DO AMBIENTE. **O Ruído e a Cidade**. Traduzido e adaptado do francês com autorização do Certu, Ministère de l'Équipement (França). Instituto do Ambiente – Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente. Lisboa, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/1**: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures, 2003/1. Suíça, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION. **ISO 9613/2**: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation, 1996/2. Suíça 1996.

JACOBSEN, F.; POULSEN, T. RINDEL, J. H.; GADE, A. C.; OHLRICH, M. **Fundamental of acoustics and noise control**. Department of Electrical Engineering, Technical University of Denmark. Note 31200, 2011.

JARDIM, A. C.; SANTOS, R. R.; RUSSO, L.; FACTORE, O. T.; FRANCO, F. C.; RODRIGUES, A.G. Estudo prévio de impacto de vizinhança (EIV) durante a construção e instalação da Faculdade de tecnologia de Jaboticabal Nilo De Stéfani. **Ciência & Tecnologia**: Fatec-JB, Jaboticabal, v.6, p. 105-109, 2014. Suplemento.

JESUS, R. A. F. de. **Ruído na cidade do Porto - A evolução em duas décadas.** Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

KLUIJVER, DE H.; STOTER, J. Noise mapping and GIS: optimizing quality and efficiency of noise effect studies. **Computers, Environment and Urban Systems**, Volume 27, Issue 1, January 2003, Pages 85-102.

KRAGH, J. **Traffic Noise Prediction with Nord2000 – an Update.** Danish Road Directorate, Road Institute, Hedehusene, Denmark, 2011.

KUTTRUFF, H. **Acoustics: An Introduction.** London and New York: Taylor and Francis, 2007.

L.Q.S.A. - LEGGE 26 ottobre 1995, n. 447. **Legge quadro sull'inquinamento acústico.** Disponível em: <http://www.comune.jesi.an.it/MV/leggi/l447-95.htm>
Acessado em: Fevereiro de 2016.

LAMBERT, J.; VALLET, M. **Study Related to the Preparation of a Communication on a Future EC Noise Policy – Final Report.** LEN Report nº 9420, França, 1994.

LEÃO, R. N.; DIAZ, F. A. M. Perfil audiométrico de indivíduos expostos ao ruído atendidos no núcleo de saúde ocupacional de um hospital do município de Montes Claros, Minas Gerais. **Revista CEFAC**, v. 12, n. 2, p. 242 – 249, 2010.

LEVY, J. Q.; BEAUMONT, J. Indicador global de ruído. Congresso de Métodos Computacionais em Engenharia, incorporando: **Anais...VIII Congresso Nacional de Mecânica Aplicada e Computacional (APMTAC)** e VI Congresso de Métodos Numéricos em Ingeniería (SEMNI). Lisboa, 2004.

LEY 37/2003. **Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.** Publicado em Boletín Oficial del Estado (BOE) num. 276, de 18 de noviembre de 2003, páginas 40494 a 40505. 2003.

LICITRA, G. **Directive 2002/49/CE: the difficult path to the implementation in Italy,** International Workshop on Noise Mapping, Pisa, Itália. 2007.

LINARD, A. R. C. S. **Poluição sonora: legislação vigente e ineficaz.** Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 14, n. 2358, 15 dez. 2009. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/14016>. Acesso em: Novembro 2015.

LIU, C.; FUERTES, E.; TIESLER, C.; BIRK, M.; BABISCH, W.; BAUER, C. P.; KOLETZKO, S.; HEINRICH, J. The association between road traffic noise exposure and blood pressure among children in Germany - The GINIplus and LISApplus studies. **Noise and Health - A Bimonthly Inter-disciplinary International Journal.** V. 15, ed. 64, p: 165-172, 2013.

LOI CADRE SUR LE BRUIT. **Loi nº 92-1444 du 31 de décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit (1).** Disponível em: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000179257&categorieLien=id>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

M.E.F.D. - Ministry of Environment and Food of Denmark. **Road traffic noise zone.** Disponível em: <http://eng.mst.dk/topics/noise/recommended-noise-limits/noise-zones/road-traffic-noise-zone/>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

MACIEL, B. A.; RIBEIRO, R. J. C.; BIAS, E. S.; GARAVELLI, S. L.; CAVALCANTI, M.; M. Modelagem do ruído urbano como instrumento de gestão ambiental. **Anais...XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2009. Natal, Brasil, INPE, p. 5301-5307.

MARTÍN, M. A.; TARRERO, A.; GONZÁLEZ, J.; MACHIMBARRENA, M. Exposure–effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain. **Applied Acoustics**, Volume 67, Issue 10, October 2006, Pages 945-958.

MAXWELL, E. L.; EVANS, G. W. The Effects of Noise on Pre-School Children's Pre-Reading Skills. **Journal of Environmental Psychology**, New York, v. 20, p. 91-97, 2000.

MCDADE, A.; CARDOSO, C.; FREITAS, E.; INÁCIO, O. Impacto das camadas superficiais dos pavimentos nos mapas de ruído – Casos de estudo. **Anais...VIII Congresso Ibero-Americano de Acústica**, 2012. Évora, Portugal, 2012.

MENDONÇA, A. B. D.; SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; VIVIANI, E. Medições acústicas: variação da geometria da via urbana e tempo de amostragem. In: III SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. **Anais...Maringá**, 2012.

MENDONÇA, A. B. D.; SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. LUCAS de.; VIVIANI, E. Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 63-77, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONAMA**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/> Acessado em: Março de 2016.

MORAES, E.; LARA, L.; TOGUCHI, L.; PINTO, A. **Mapa de ruídos da zona comercial de Belém, uma parcelado Mapa de ruídos da cidade de Belém – Brasil**. Tecni Acustica. Bilbao, 2003.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2012. ABES.

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. São Paulo: Senac, 2007.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano**. Estudo de caso: área central de Florianópolis. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

NIEMEYER, M. L. A. **Conforto Acústico e Térmico, em Situação de Verão, em Ambiente Urbano: Uma Proposta Metodológica**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

NMPB-Routes 96 – **Bruit des Infrastructures Routières, méthode de calcul incluant leseffects météorologiques**. Ed.: Ministère de l'Équipement, du Logement,

des Transports er du Tourisme/CERTU/SETRA/LCPC/CSTB, Janvier 1997 (ISBN 2-11-089201-3).

NOISE FROM ROADS. Guidelines from the Danish Environmental Protection Agency. Nº 4/2007 "Noise from Roads". Disponível em: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2007/978-87-7052-542-8/pdf/978-87-7052-542-8.pdf>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

NUNES, M. F. O. Poluição sonora em centros urbanos: O ruído de tráfego veicular. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais...**Rio de Janeiro, 1999.

OUIS, D. Annoyance from road traffic noise: a review. **Journal of Environmental Psychology** (2001) 21, 101-120. Department of Engineering Acoustics, Lund Institute of Technology, P. O. Box 118, S-221 00 Lund, Sweden, 2001.

PATRÍCIO, O. Meio Ambiente, Transportes e Poluição. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, nº 8, Universidade Federal de Sergipe, Editora EFS, São Cristóvão, p. 41-56. Brasil, 2012.

PINTO, D. N. **Mapeamento Acústico como ferramenta para predição de ruído urbano na área de influência do estádio Arena das dunas, Natal/RN.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU – da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

PINTO, F. A. N. C.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods – example of Copacabana, Rio de Janeiro – Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, p. 309-318, 2009.

PINTO, R. **Uma alternativa para viabilizar as medições necessárias à vistoria do ruído veicular, na condição parado, nos postos do Detran, no estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Mecânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO LEOPOLDO. **Cidade – Dados Gerais.** Disponível em: http://www.saoleopoldo.rs.gov.br/?titulo=Cidade&template=conteudo&categoria=21&codigoCategoria=21&idConteudo=37&tipoConteudo=INCLUDE_MOSTRA_CONTEUDO. Acessado em: Novembro de 2015.

PROTI, L.; DUTRA, P.; ALVIM, N.; DAMASCENO, H.; VIANA, F.; CAMPOS, A. Inventário da poluição sonora no entorno do campus da Universidade FUMEC. **Construindo**, Belo Horizonte, v.3, n.2, p.37-44, jul./dez. 2011.

REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, em lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Publicado em Boletín Oficial del Estado (BOE) núm. 254, páginas 42952 a 42973. 2007.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 08 de março de 1990. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU (Diário Oficial da União) nº 63, de 02 de abril de 1990, Seção 1, página 6408. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 31, de 15 de fevereiro de 1993, Seção 1, páginas 2037 - 2040. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 002, de 08 de março de 1990. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 63, de 02 de abril de 1990, Seção 1, página 6408. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 002, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 31, de 15 de fevereiro de 1993, Seção 1, páginas 2041 - 2044. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 006, de 31 de agosto de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 250, de 1º de outubro de 1993, páginas 21533 - 21534. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 017, de 13 de dezembro de 1995. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 249, de 29 de dezembro de 1995, Seção 1, páginas 22878 - 22879. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 230, de 22 de agosto de 1997. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 163, de 26 de agosto de 1997, Seção 1, páginas 18603 - 18604. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 268, de 14 de setembro de 2000. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 237, de 11 de dezembro de 2000, Seção 1, página 29. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 272, de 14 de setembro de 2000. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 7, de 10 de janeiro de 2001, Seção 1, página 24. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 418, de 25 de novembro de 2009. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 226, de 26 de novembro de 2009, páginas 81 - 81. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 433, de 13 de julho de 2011. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 134, de 14 de julho de 2011, página 61. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acessado em: Fevereiro de 2016.

RLS 90, **Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen** (Guidelines for Noise Control at Roads, in German); Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Ausgabe 1990, Verkehrsblatt 44 (1990).

ROCHA, C.; CARVALHO, A. P. **Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído**. Agência Portuguesa do Ambiente, 2008.

ROMEU, J.; GENESCÀ, M.; PÀMIES, T.; JIMÉNEZ, S. Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements. **Applied Acoustics**, v. 72, n.8, p. 569 – 577, 2011.

SANTOS, L. C.; VALADO, F. **O Mapa de Ruído Municipal como Ferramenta de Planeamento**. Acústica 2004. Guimarães, Portugal, 2004. Disponível em <http://www.sea-acustica.es/Guimaraes04/ID162.pdf> Acesso em: Dezembro de 2015.

SATTLER, M. A.; ROTT, J. A. A.; CORADINI, R. A. Avaliação do ruído ambiental em Porto Alegre, RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: ENTAC, 1995. p. 647-652.

SHAFER, R.M. (2001) **A afinação do mundo**. Trad. Marisa Trench Fonterrada. São Paulo: UNESP.

SILVA FILHO, S. F. **Poluição sonora. 2003**. Portal São Francisco. Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-poluicao-sonora/poluicao-sonora.php> Acesso em: Novembro de 2015.

SILVA, Â. C.; SILVA, L. T.; SOUZA, L. C. L. **Avaliação do ruído num bairro residencial em Bauru: SP – Situação de pico de tráfego**. <http://hdl.handle.net/1822/17699>, 2010.

SILVA, A. M. C. **Mapa de ruído do Bairro “Vila Universitária” em Bauru: situação de pico**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2010.

SILVA, L. T.; MENDES, J. F. G. **Monitorização do ruído ambiente na zona de intervenção polis da cidade de Viana do Castelo**. Planejamento urbano, integrado e sustentável: desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal. Editores: SILVA, A. N. R. da; SOUZA, L. C. L. de; MENDES, J. F. G. São Carlos: Universidade de São Paulo, páginas 213 a 228. 2005. <http://hdl.handle.net/1822/5205>

SILVA, L. T.; RODRIGUES, D. S.; RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação de zonas de criticidade acústica – Aplicação das potencialidades de um SIG na avaliação do ruído de uma cidade de média dimensão. **Anais...ENCONTRO DE UTILIZADORES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA**, 8, Oeiras, 2004 - “Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica (ESIG 2004): actas”. [Lisboa: USIG, 2004].

SILVA, PÉRIDES. **Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar**, Belo Horizonte. Edital Empresa Termo Acústica, 2011

SOUZA, D da S. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a Sustentabilidade das Cidades Brasileiras**. 616 f. Tese (Doutor em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L de. Comparação de métodos de previsão de ruído urbano. 15º ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 2014, Campinas, Brasil. **Anais...**2014.

SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L de.; SILVA, A. N. R da. Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. **Ciência e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 7, p. 2201-2210, jul. 2015.

T&E - European Federation for Transport and Environment. **Can you hear us? Why it is finally time for the EU to tackle the problem of noise from road and rail traffic**. Bruxelas, Bélgica, 2008.

UNISINOS. **História institucional**. Disponível em: <http://www.unisinis.br/institucional/a-unisinis/historia>. Acessado em: Novembro de 2015.

VALADARES, V. M. **Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte – MG**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

VALADARES, V.M.; SOUZA, R.V.G.; CORNACCHIA, G.; GROSCH, J.G. Considerando a atmosfera acústica na elaboração de planos diretores. 9º ENCONTRO NACIONAL E 5º LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto, Brasil. **Anais...**2007.

VENTURA, J. Implementação e comparação de dois métodos para elaboração de mapas de ruído: observação e cálculo. **Anais...**8º Congresso Ibero-Americano de Acústica. Évora, Portugal, 2012.

WG3. **Working Group 3** (eds). Computational and Measurement. Progress Report. 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines to Community Noise**, Geneva, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise**. Copenhagen, 2012.

YOZA, L. S. Y.; CASANÔ, O, S.; TINEO, S. D.; CASTILLO, L. E. L. Ruido Ambiental en El Campus de La Universidad Nacional Agraria La Molina, **Anales Científico de La Universidad Nacional Agraria La Molina**, volume 68 (2), Lima, Peru, 2007.

ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.; FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F. Characterization of Environmental Noise based on Noise Measurements, Noise Mapping and Interviews: A Case Study at a University Campus in Brazil, **Cities**, Volume 31, pages 317-327. 2013.