Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Filipe Mendes Vilela de Oliveira

Medidas de Redução de Ruído em Meio Urbano. O caso da Rotunda de Silvares em Guimarães

dezembro de 2022

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Rui Filipe Mendes Vilela de Oliveira

Medidas de Redução de Ruído em Meio Urbano. O caso da Rotunda de Silvares em Guimarães

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Lígia Maria Marques Oliveira Torres Silva

dezembro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-Não Comercial
CC BY-NC

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar do meu percurso académico cheio de pessoas indispensáveis e marcantes na minha vida, às quais devo o meu sucesso:

À Professora Doutora Lígia Maria Marques Oliveira Torres Silva, na qualidade de minha orientadora, devo o meu agradecimento por todo o suporte pedagógico e científico, por todo o apoio, pela confiança que demonstrou em mim, por toda a sabedoria que me transmitiu e pelas palavras finais no tomar de decisões. O seu sentido crítico juntamente com o seu profissionalismo, trouxeram a esta dissertação um resultado ainda mais interessante.

Às Infraestruturas de Portugal, S.A., como Dono de Obra, e CJR, S.A., como empreiteiro, deixo o meu agradecimento pela informação disponibilizada.

Aos meus avós deixo o meu agradecimento pelo carinho, preocupação e apoio durante estes anos. Sempre foram uns pais para mim e isso foi muito importante.

Ao Pedro, como irmão, deixo um grande abraço por ser esse amigo desde que nasceu. Ao Pedro, como Engenheiro Civil e um dos Engenheiros que participou na obra da Rotunda de Silvares, agradeço o suporte técnico e a experiência que me transmitiu.

Por fim, mas não menos importante, aos meus pais queria deixar o maior agradecimento! Este é o meu empenho de um curso compactado numa dissertação, espero que os orgulhe como eu tenho orgulhos neles, as pessoas mais importantes da minha vida, as pessoas que tornaram isto possível.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Medidas de Redução de Ruído em Meio Urbano. O caso da Rotunda de Silvares em Guimarães

RESUMO

O ruído gerado pelo tráfego rodoviário é algo a ter em conta, devido aos seus prejudiciais efeitos na população, a curto e longo prazo.

O caso em estudo incidirá na Rotunda de Silvares, localizada numa das principais entradas da cidade de Guimarães. As duas principais entradas na rotunda foram desniveladas, evitando, principalmente em horas de ponta, a criação de congestionamento. Este tipo de conflito, além de perigoso, devido à fila de tráfego que gerava, estendendo-se por vezes ao logo da autoestrada, constituía uma importante fonte de ruído.

O presente estudo pretende avaliar a eficácia desta medida sob ponto de vista acústico. Foi desenvolvido um modelo tridimensional e avaliado o ruído existente nas imediações da rotunda nos cenários antes e após a construção da rotunda desnivelada. Adicionalmente, são propostas medidas de redução de ruído, caso persista o cenário de sobre-exposição de ruído.

Com este trabalho é esperado obter a eficácia do desnivelamento de um via principal no descongestionamento do tráfego e consequentemente a redução do ruído ambiente para os níveis considerados aceitáveis de acordo com Regulamento Geral de Ruído (DL 9/2007).

Foi possível concluir que a introdução da passagem desnivelada teve pouco impacto na redução de ruído na rotunda, mesmo tendo em conta que o desnível ajudava com a diminuição do ruído, pois desde a altura que a intervenção foi feita até agora o número de veículo aumentou o que levou a um pequeno aumento do ruído.

Palavras-Chave

Ambiente urbano

Ruído ambiental

Poluição sonora

Qualidade de vida

Noise Reduction Measures in Urban Environment. The case of the Roundabout of Silvares in Guimarães

ABSTRACT

The noise generated by road traffic is something to be considered, due to its harmful effects on the population in the short and long term.

The case study will focus on the roundabout of Silvares, located at one of the main entrances to the city of Guimarães. The two main entrances to the roundabout were levelled off, avoiding, especially at peak hours, the creation of congestion. This type of conflict, besides being dangerous due to the queue of traffic it generated, sometimes extending along the motorway, was a major source of noise.

This study aims to evaluate the effectiveness of this measure from an acoustic point of view. A three-dimensional model was developed and the existing noise in the vicinity of the roundabout was evaluated in the scenarios before and after the construction of the unlevel roundabout. In addition, noise reduction measures were proposed in persistent acoustic conflict zones.

With this project it is expected to obtain the effectiveness of the levelling off a main road in traffic decongestion and consequently the reduction of ambient noise to levels considered acceptable according to General Noise Regulation (DL 9/2007).

It was possible to conclude that the introduction of the unlevel crossing had little impact on noise reduction at the roundabout, even considering that the unevenness helped with the noise reduction, because since the time that the intervention was made until now the number of vehicles increased which led to a small increase in noise.

Keywords

Urban environment

Urban noise

Noise pollution

Life quality

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Enquadramento do tema 1

1.2 Impacto do ruído urbano na saúde da população 1

1.3 Políticas Urbanas 3

1.4 Objetivo do estudo e enquadramento do caso de estudo 3

1.5 Descrição dos capítulos 4

2 ESTADO DE ARTE 5

2.1 Ruído Ambiental 5

2.1.1 O que é o ruído? 7

2.1.2 Como se avalia/mede o ruído? 7

2.1.3 Modelação do ruído 10

2.1.4 Propagação do ruído 12

2.1.5 Como controlar/reduzir o ruído 22

2.1.6 Enquadramento legal do ruido ambiental em Portugal/Guimarães 26

2.2 Instrumentos de Planeamento no Âmbito do Ruído Ambiental do Município de Guimarães 27

2.2.1 Mapa Municipal de Ruído de Guimarães 27

2.2.2 Mapa de Zonamento Acústico ou Mapa de Classificação de Zonas Acústicas 30

2.2.3 Mapa de conflito acústico 31

2.2.4 Plano Municipal de Redução de Ruído 33

3 METODOLOGIA 34

4 ESTUDO DE CASO 36

4.1 Descrição do local 36
4.2 Mapa de Ruído do Local Antes da Intervenção 46
4.3 Mapa de Ruído do Local Após Intervenção 47
4.4 Validação do modelo 49
4.5 Avaliação do Impacto da Intervenção 53
4.6 Avaliação do território exposto 54
4.6.1 Avaliação comparativa da população exposta para momentos antes e após a intervenção com tráfego atual 58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS 62
5.1 Conclusões 62
5.2 Propostas de alteração para trabalhos futuros 64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala dB e respetivas fontes de ruído e influência nas pessoas (Silva, LT, 2007) 6
Figura 2 - Representação visual da duplicação de duas fontes de ruído 6
Figura 3 - Indicadores de ruído ambiente (Bodén, Hans, 2010) 8
Figura 4 - Propagação de uma fonte sonora do tipo pontual (adap. de iambiente.pt) 14
Figura 5 - Propagação de uma fonte sonora do tipo linear (estudijas.llu.lv) 14
Figura 6 - Influência do vento na propagação do som (Silva, L. 2008) 16
Figura 7 - Influência da variação da temperatura na propagação do som (Silva, L. 2008) 16
Figura 8 - Influência da humidade relativa do ar na atenuação das ondas sonoras (Silva, L. 2008) 17
Figura 9 - Propagação do ruído emitido de uma estrada na presença de uma barreira acústica (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995) 17
Figura 10 - Propagação vertical do ruído emitido por uma estrada ladeada por dois edifícios (Silva, L. 2008) 18
Figura 11 - Propagação vertical do ruído emitido por uma estrada de campo aberto (Silva, L. 2008) 19
Figura 12 - Propagação horizontal do ruído emitido por uma estrada ladeada por dois edifícios (Silva, L. 2008) 19
Figura 13 - Propagação horizontal do ruído emitido por uma estrada em campo aberto (Silva, L. 2008) 20
Figura 14 - Reflexão especular (Adaptado de METHA, JOHNSON; e ROCAFORT (1999)) 20
Figura 15 - Reflexão difusa ou Difusão sonora (Adaptado de METHA, JOHNSON; e ROCAFORT (1999)) 21
Figura 16 - Níveis de ruído atingidos de acordo com o tipo de pavimento (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995) 23
Figura 17 - As formas urbanas ((Silva, L. 2008, apud IA, 2004) 24
Figura 18 - Exemplos de formas urbanas 25
Figura 19 - Localização de edifícios privilegiando a criação de zonas calmas (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995) 25
Figura 20 - Mapa do ruído Lden em Guimarães (Norte) 28

Figura 21 - Mapa do ruído Lden em Guimarães (Sul) 28
Figura 22 - Mapa do ruído Ln em Guimarães (Norte) 29
Figura 23 - Mapa do ruído Ln em Guimarães (Sul) 29
Figura 24 - Mapa de zonamento acústico de Guimarães (Norte) 30
Figura 25 - Mapa de zonamento acústico de Guimarães (Sul) 30
Figura 26 - Mapa de conflito acústico Lden em Guimarães (Norte) 31
Figura 27 - Mapa de conflito acústico Lden em Guimarães (Sul) 31
Figura 28 - Mapa de conflito acústico Ln em Guimarães (Norte) 32
Figura 29 - Mapa de conflito acústico Ln em Guimarães (Sul) 32
Figura 30 - Vista aérea da rotunda de Silvares antes e após a intervenção (Fonte: Google Maps) 37
Figura 31 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída norte (Fonte: Google Maps) 42
Figura 32 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída sul (Fonte: Google Maps) 42
Figura 33 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída este (Fonte: Google Maps) 43
Figura 34 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída oeste (Fonte: Google Maps) 43
Figura 35 - Vista panorâmica da rotunda de Silvares após a intervenção 44
Figura 36 - Fotografia da rotunda de Silvares a ver-se para a passagem desnivelada ... 44
Figura 37 - Vista da passagem desnivelada em direção a Este (Fonte: Google Maps) 45
Figura 38 - Vista da passagem desnivelada em direção a Oeste (Fonte: Google Maps) 45
Figura 39 - Mapa de ruído, Lden, na Rotunda de Silvares antes da intervenção 46
Figura 40 - Mapa de ruído, Ln, na Rotunda de Silvares antes da intervenção 47
Figura 41 - Mapa de ruído Lden na rotunda de Silvares após a intervenção 48
Figura 42 – Mapa de ruído Ln na rotunda de Silvares após a intervenção 49
Figura 43 - Posição dos pontos em vista em planta 50
Figura 44 -Foto do equipamento colocado no ponto 1 de medição 51
Figura 45 - Foto do equipamento colocado no ponto 2 de medição 51
Figura 46 - Valores obtidos na CadnaA para o Ponto 1 52
Figura 47 - Valores obtidos na CadnaA para o Ponto 2 52

Figura 48 - Imagem aérea da rotunda com a distância do centro da rotunda até à habitação mais perto 54
Figura 49 - Mapa de conflito acústico Lden da habitação perto da rotunda 55
Figura 50 - Mapa de conflito acústico Ln da habitação perto da rotunda 55
Figura 51 – Representação ilustrativa da área de cálculo da exposição ao ruído..... 57
Figura 52 - Mapa de ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Lden 59
Figura 53 - Mapa de ruído antes da intervenção com o tráfego atual Ln 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contagem de Tráfego antes da Rotunda desnivelada (2019), fonte (Infraestruturas de Portugal). 37
Tabela 2 - Contagem de tráfego em todas as vias antes da intervenção..... 38
Tabela 3 - Contagem de tráfego após a intervençao (período de pico da manhã, e a meio da manhã)..... 39
Tabela 4 - Contagem de tráfego após a intervençao (período de almoço e pico da tarde) 39
Tabela 5 - Contagem de tráfego após a intervençao (período da noite) 40
Tabela 6 - Contagem de tráfego em todas as vias após intervenção 40
Tabela 7 - Ruido de modelação e medido e o respetivo desvio 53
Tabela 8 - Área exposta ao ruído antes da intervenção Lden e Ln..... 57
Tabela 9 - Área exposta ao ruído após a intervenção Lden e Ln..... 58
Tabela 10 - Área exposta ao ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Lden..... 59
Tabela 11 - Área exposta ao ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Ln..... 60
Tabela 12 - Comparação Após Intervenção com Antes da Intervenção..... 61
Tabela 13 - Comparação Antes Intervenção Tráfego atual com Antes da Intervenção 61
Tabela 14 – Comparação Após Intervenção com Antes da Intervenção tráfego atual... 61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

Com um crescimento de quase 700% no parque automóvel total em Portugal desde 1974 até 2010, a rede rodoviária tem obrigatoriamente de se adaptar e desenvolver. Com este progresso vem a adoção de novas soluções como a criação de novas estradas e a conservação/reabilitação da rede (Oliveira, 2017). Nesta conservação e reabilitação, entram vários fatores em estudo, um deles o ruído. Cada vez mais a poluição sonora provoca problemas de saúde na população mais exposta ao ruído, esta dissertação vai explorar uma pequena parte deste grande problema.

A rotunda de Silvares sofreu alterações em perfil e em planta, estas alterações foram feitas para que a circulação de tráfego fosse mais fluida, pois esta rotunda dá acesso à entrada da autoestrada e constantemente provocava engarrafamento à entrada de Guimarães.

A alteração feita foi criar uma passagem desnivelada, que liga diretamente a saída da autoestrada a Guimarães sem que o tráfego que se dirige para o centro da cidade tenha necessidade de entrar na rotunda. O resto da rotunda manteve-se na maior parte igual à anterior com a exceção da redução do número de vias nas entradas onde a passagem desnivelada foi construída.

1.2 Impacto do ruído urbano na saúde da população

Muitos acreditam que o único efeito físico de viver numa área com poluição sonora excessiva é a dor de cabeça ocasional. Embora as dores de cabeça possam ocorrer e ocorram como resultado do ruído ambiental excessivo, isso está longe de ser o único efeito prejudicial à saúde. A poluição sonora cria problemas para quase todos independentemente da idade ou saúde. (Matthews, 2018)

Estudos científicos recentes, mostraram uma forte correlação entre o ruído ambiental e um risco elevado de pressão alta. Não só isso, mas em áreas com poluição sonora excessiva, como áreas próximas a aeroportos, os moradores mais expostos apresentam um maior risco de ataque cardíaco e derrame. A poluição sonora afeta também o crescimento e o desenvolvimento da aprendizagem das crianças. Em áreas em que o ruído excessivo está frequentemente presente, as crianças mostram uma compreensão geral de

leitura e habilidades de raciocínio lógico mais baixas do que os colegas que crescem em ambientes sonoros mais naturais, por isso é importante haver medidas de redução de ruído perto das escolas ou centro de aprendizagem. Também é sabido que a exposição prolongada ao ruído excessivo se correlaciona com um maior risco de depressão, ansiedade e insónia. (Matthews, 2018)

A poluição sonora também afeta os animais no geral, tendo em conta que estes não estão habituados a elevado ruído na natureza, e coloca os nossos animais de estimação em risco. A maioria dos donos de animais de estimação percebe que ruídos altos repentinos como o som de fogos de artifício aterrorizam os seus animais de estimação. Portanto, eles tomam as medidas adequadas para proteger os seus animais de estimação de tempestades e afins. Isto também é comum nos canis, o que leva os funcionários, e por vezes voluntários, nos dias em que se sabe que vai haver ruídos dessa natureza a visitar o canil para acalmar os animais. No entanto, a exposição prolongada à poluição sonora pode levar a problemas de comportamento animal e pode até encurtar a vida dos nossos animais de estimação. (Matthews, 2018)

Em 1972, a partir da 1ª Conferência sobre meio ambiente da Organização das Nações Unidas, as questões ambientais ganharam visibilidade em discussões a respeito da saúde. Desde então, o ruído foi declarado como poluente ambiental. Nesta mesma década, o projeto desenvolvido por Murray Schafer no Canadá: World Soundscape Project27 defendia a importância da melhoria da qualidade do ambiente sonoro urbano, devido aos efeitos negativos que a poluição sonora tinha na saúde humana. Embora a relação entre poluição ambiental e doenças seja objeto de pesquisa há muito estabelecido, apenas nos últimos anos tem-se procurando quantificar os riscos dessa mesma relação. (Vianna, 2014)

Em 2011, a Organização Mundial de Saúde revelou que ao menos um milhão de anos de vidas saudáveis são perdidas devido ao ruído do tráfego nos países da Europa Ocidental. Os principais problemas de saúde decorrentes desta exposição destacam-se: doenças cardiovasculares, comprometimento cognitivo, distúrbios do sono, zumbido e incómodo. Este mesmo documento sugere a quantificação da carga de doença pelo indicador Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade (DALYs). De acordo com este critério, a principal carga de doença em função da exposição ao ruído é atribuída aos distúrbios do sono (903.000 DALYs), seguida pelo incómodo (654.000 DALYs). (Vianna, 2014)

1.3 Políticas Urbanas

O plano municipal de redução de ruído (PMRR) é o documento de elaboração obrigatória que dá cumprimento à responsabilidade do município de promover e assegurar a qualidade do ambiente sonoro e, como tal, deve:

- Identificar as zonas sensíveis ou mistas expostas a níveis sonoros que excedem os valores limite de exposição aplicáveis e onde, por esse motivo, é necessário reduzir o ruído ambiente exterior. Esta identificação resulta da sobreposição da carta de classificação de zonas sensíveis e mistas com o mapa municipal de ruído;

- Quantificar, para as zonas que excedem os valores limite de exposição, a redução global de ruído necessária para cumprimento dos valores limite, detalhando, para cada tipo de fonte, a redução necessária e a entidade responsável por essa redução;

- Indicar as medidas de redução de ruído e respetiva eficácia para as fontes de ruído de responsabilidade municipal.

1.4 Objetivo do estudo e enquadramento do caso de estudo

O presente estudo pretende avaliar a eficácia da introdução da passagem desnivelada, sob ponto de vista acústico. Será desenvolvido um modelo tridimensional e, com recurso a um modelo de previsão de ruído, será avaliado o ruído existente nas imediações da rotunda nos cenários antes e após a construção da passagem desnivelada na rotunda. Adicionalmente serão propostas medidas de redução de ruído, caso persista o cenário de sobre-exposição de ruído. Com este trabalho é esperado obter a eficácia do desnivelamento de um via principal no descongestionamento do tráfego e consequentemente na redução do ruído ambiente e a proposta de medidas de redução do ruído para uma diminuição de ruído para os níveis considerados aceitáveis de acordo com Regulamento Geral de Ruído (DL 9/2007).

1.5 Descrição dos capítulos

O Capítulo 1, presente capítulo, tem como objetivo fazer o enquadramento do tema, descrever os objetivos gerais e a estrutura da dissertação.

O Capítulos 2 aborda a revisão da literatura, sobre a temática principal da dissertação, ruído ambiental urbano;

O Capítulo 3 apresenta a metodologia levada a cabo para o desenvolvimento do estudo de caso;

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso, a avaliação do ruído ambiente antes e depois da intervenção na rotunda de Silvares, os resultados obtidos e a análise e discussão dos resultados;

O Capítulo 5 apresenta as conclusões e propostas de estudos futuros.

Por fim são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na dissertação.

2 ESTADO DE ARTE

2.1 Ruído Ambiental

O som é qualquer variação de pressão no ar (ou noutro meio que se deforme, como, por exemplo, a água) que o ouvido humano pode detetar. Assim quando uma fonte sonora, como uma buzina toca ou as rodas do carro a passar pelo pavimento, provoca variações de pressão no ar ambiente que se sobrepõem à pressão do ar e se propagam pelo ar através de ondas sonoras.

Quando comparada com a pressão do ar, medida em Pascal (Pa), a variação da pressão sonora é percetível pelo ouvido humano, para um indivíduo de características medias em plena forma das suas capacidades auditivas, numa ampla gama de valores, desde os 0,00002 Pa (limiar da audição) a 20 Pa (limiar da dor), pelo que é mais prático utilizar uma escala logarítmica para os exprimir. Adotou-se o nível de pressão sonora em decibel (dB) cuja escala de valores varia entre 0 dB (limiar da audição) e 120 dB (limiar da dor) como representado na Figura 1.



Figura 1 - Escala dB e respetivas fontes de ruído e influência nas pessoas (Silva, LT, 2007)

Contudo, o ouvido humano é diferentemente sensível às diversas frequências sonoras (sons graves, médios e agudos) pelo que, para reproduzir essa sensibilidade, utiliza-se o decibel corrigido, designado por "decibel A" (dB(A)).

A aritmética do decibel requer atenção, uma vez que não se trata de valores lineares, mas sim de valores logarítmicos. Uma variação positiva de 3 dB(A), por exemplo, é uma variação considerável e facilmente identificável, pois corresponde à duplicação da fonte sonora.



Figura 2 - Representação visual da duplicação de duas fontes de ruído

2.1.1 O que é o ruído?

O ruído não tem uma definição exata, mas de um modo geral é definida por um som indesejável. Assim vai-se apresentar duas definições de ruído:

Subjetiva: Ruído é considerado toda a sensação auditiva desagradável ou prejudicial.

Física: Ruído é o fenómeno acústico não periódico, sem componentes harmónicos definidos.

Fisicamente, o ruído é um som muito complexo, que resulta da superposição desarmónica de sons provenientes de diversas fontes. O seu espectro é sempre uma confusa composição de harmónicas sem classificação ou ordem de composição. Normalmente o espectro do ruído é uma banda larga de frequências, compacto e uniforme, sendo comum ter uma faixa de frequência (grave, media ou aguda) com maior predominância

2.1.2 Como se avalia/mede o ruído?

O ruído ambiente proveniente do meio urbano, qualquer que seja o local, não é estacionário, apresenta variações ao longo do tempo que se revelam no sinal produzido através de quebras e picos. Quando se pretende, por exemplo, caracterizar o ruído produzido pelo tráfego rodoviário, dado o seu ruído ser flutuante, uma simples medição pontual do seu valor não é suficiente para ser significativo. Assim será necessário recorrer ao cálculo duma média, obtida após um tempo de medição representativo, bem como a indicadores que possam revelar os picos máximos e mínimos ocorridos durante o período de medição.

Na avaliação do ruído ambiente são, em geral, utilizados determinados indicadores de ruído que caracterizam o ambiente acústico exterior. São eles os indicadores médios, através do nível sonoro contínuo equivalente (L_{eq}), os indicadores máximo e mínimo através do nível de pressão sonora máxima (L_{max}) e do nível de pressão sonora mínimo (L_{min}), e os indicadores estatísticos ou níveis percentis através, por exemplo, do nível de pressão sonora que foi excedido durante 10% do tempo de medição (L_{10}), do nível de

pressão sonora que foi excedido durante 50% do tempo de medição (L_{50}) e do nível de pressão sonora que foi excedido durante 95% do tempo de medição (L_{95}). Estes indicadores de ruído ambiente estão ilustrados na Figura 3.

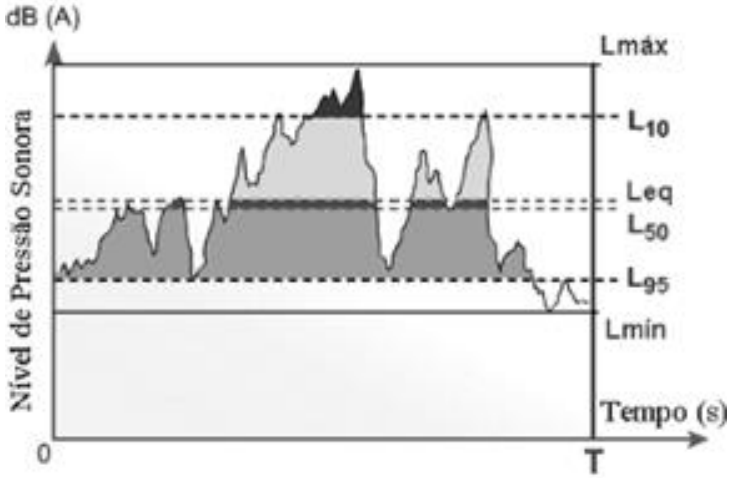


Figura 3 - Indicadores de ruído ambiente (Bodén, Hans, 2010)

O L_{eq} é o indicador adotado internacionalmente por ser o mais representativo do ruído observado num determinado local e durante um certo intervalo de tempo e é expresso em dB. Define-se como Nível Sonoro Contínuo Equivalente – L_{eq} que é o nível de pressão sonora assumido constante, no qual a quantidade de energia acústica emitida durante determinado período definido será a mesma do que o ruído flutuante efetivo emitido. Poderá ser um L_{eq} de um minuto, de uma hora, de um dia ou mais. Se a curva é filtrada com a ponderação A, será identificada como $L_{eq}(A)$ sendo expresso em dB(A). O L_{eq} é definido pela Equação 1:

$$L_{eq} = 10 \times Log\left(\frac{1}{T}\int_0^T\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 dt\right) \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde, T - é o tempo de medição, [s]; p(t) é a pressão sonora instantânea, [Pa]; p0 é a pressão sonora de referência, [Pa].

Os indicadores de nível sonoro máximo e mínimo através respetivamente do L_{max} e L_{min} correspondem, como o nome indica, ao valor máximo e mínimo registado de nível de pressão sonora durante o período de medição.

Incluídos nos indicadores de ruído podem-se ainda definir os níveis sonoros contínuos equivalentes por períodos do dia, segundo o RGR (Regulamento Geral do Ruído, aprovado pelo Decreto-lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro) o período diurno é compreendido entre as 7.00h e as 20.00h, o período entardecer é compreendido entre as 20.00 e 23.00 horas e o período noturno compreendido entre as 23.00h e as 7.00h. Este regulamento define os indicadores de ruído ambiente de longo termo que são o L_{dia} (indicador de ruído diurno), $L_{entardecer}$ (indicador de fim-de-tarde, período intermédio) e o L_{noite} (indicador noturno). Os L_{dia}, $L_{entardecer}$ e L_{noite} devem constituir níveis de ruído de longo período nos termos da norma ISO 1996-2:1987. Estes indicadores são determinados para o conjunto dos períodos diurnos, intermédios e noturnos de um ano. A norma ISO 1996-2:1987 define o nível de ruído médio de longo prazo como um nível de pressão acústica contínuo equivalente em ponderação A, que pode ser determinado por cálculo tendo simultaneamente em conta as variações da atividade da fonte e das condições meteorológicas que interferem na propagação.

O RGR estabelece um novo indicador de ruído ambiente, o indicador de ruído ambiente composto Lden, que corresponde a um nível sonoro contínuo equivalente de 24 horas ponderado distintamente nos períodos de fim-de-tarde e noite, por forma a traduzir de uma forma mais aproximada o incómodo global associado. O Lden é definido pela Equação 2:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_{dia}}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_{entardecer}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{noite}+10}{10}} \right)$$

(Equação 2)

Onde:

L_{dia} é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado A, conforme definido na NP1730, determinado durante todos os períodos diurnos de um ano ou durante uma série de períodos do dia representativos de um ano;

$L_{entardecer}$ é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado A, conforme definido na NP1730, determinado durante todos os períodos de fim-de-tarde de um ano ou durante uma série de períodos do entardecer representativos de um ano;

L_{noite} é o nível sonoro médio de longa duração, ponderado A, conforme definido na NP1730, determinado durante todos os períodos da noite de um ano ou durante uma série de períodos noturnos representativos de um ano.

2.1.3 Modelação do ruído

O tráfego rodoviário urbano é apontado como sendo o mais incomodativo e o que ostenta maior versatilidade de produção sonora não só pelas particulares dos veículos, mas também, como pelo meio onde circulam. O ruído rodoviário atenua e agrava-se constantemente a agressividade da condução do automobilista, a composição e fluxo de tráfego, a rugosidade e estado de degradação do pavimento, e ainda as características das vias.

O programa de cálculo automático gera, a partir de cada ponto recetor, um conjunto de raios correspondentes à propagação do ruído, normalmente espaçados em ângulos iguais e, portanto, definindo setores circulares. O cálculo acústico é realizado para cada raio que sai do recetor considerado e que pode intersetar uma fonte de ruído. Para tal é necessário definir a potência acústica associada à fonte, a atenuação devida à divergência geométrica (A_{div}), a absorção pelo ar (A_{atm}), a difração (A_{dif}), os efeitos devidos ao solo (A_{solo}) e a absorção das superfícies verticais (A_{ref}) nas quais o raio foi refletido no plano horizontal.

Este algoritmo de cálculo tem em consideração as condições meteorológicas na zona em estudo durante o cálculo do nível sonoro equivalente a longo termo L_{LT}. (Silva, Silva, & Souza, 2010)

Este nível L_{LT} é calculado somando todos os contribuintes energéticos dos níveis sonoros obtidos para as condições atmosféricas homogéneas e favoráveis, ponderadas segundo a sua ocorrência relativa no local em estudo. Nos intervalos de tempo em que ocorrem condições atmosféricas desfavoráveis são considerados pelo método níveis reais obtidos nas condições de propagação. (Silva, Rodrigues, Ramos, & Mendes, 2004)

Assim, o nível sonoro para um período longo é calculado segundo a expressão:

$$L_{LT} = 10\log(p \times 10^{\frac{L_{pF}}{10}} + \ 1 - p \ \times 10^{\frac{L_{pH}}{10}}$$

(Equação 3)

Onde,

$L_{p,H}$: é o nível sonoro para condições meteorológicas homogéneas do local e é calculado pela expressão:

$$L_{p,H} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,H} - A_{dif,H} - A_{ref} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde,

Lp,F: é o nível sonoro para condições meteorológicas favoráveis do local e é calculado pela expressão:

$$L_{p,F} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,F} - A_{dif,F} - A_{ref} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde,

p: figura a ocorrência das condições meteorológicas favoráveis durante a propagação do som e assume valores entre $0 < p < 1$.

LW: representa a potência acústica associada ao fluxo de tráfego rodoviário. (O cálculo da potência acústica LW associada ao tráfego é em função das características do tráfego (fluxo, composição e velocidade média), bem como da tipologia e tipo de pavimento da estrada.)

Para simplificação do cálculo, o tráfego é dividido em duas categorias de veículos (ligeiros e pesados) tratando os de uma forma conjunta, assim o fluxo de veículos pesados terá um fator de equivalência acústica em comparação com os veículos ligeiros.

$$LW = LW_{VL} + 10\log\ \frac{\text{fluxo}+\text{fluxo}\times\%P\times\frac{EQ-1}{100}}{V_{50}}\ - 30 \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde,

LW_{VL}: é a potência acústica produzida por um veículo ligeiro; Fluxo: é o número de veículos por hora por faixa de rodagem; %P: é a percentagem de veículos pesados; EQ: é a equivalência de veículos pesados/veículos ligeiros.

$$LW_{VL} = 46 + 30\log V_{50} + C \qquad \text{(Equação 7)}$$

Onde,

V50: representa a velocidade do fluxo de ligeiros e V50 = 30 se V50 <30; C = 0 para fluxo de tráfego fluido; C = 2 para fluxo de tráfego interrompido; C = 3 para fluxo de tráfego em aceleração

O fator de equivalência acústica entre veículos e pesados é dado pelas normas Francesas – NF S.31.085.

2.1.4 Propagação do ruído

O ruído é emitido por uma fonte sonora ou um conjunto de fontes e propaga-se, a partir da fonte, sobre a forma de ondas mecânicas concêntricas e de forma aproximadamente esférica. Dependendo do tipo de fonte estas ondas poderão obter uma forma esférica, cilíndrica ou planar. O ruído vai diminuindo de energia, que transporta, com a distância do recetor à fonte emissora sonora. Vários são os fatores que contribuem para esta atenuação da propagação do ruído, isto é, para a dissipação de energia sonora, a saber, o efeito de divergência que depende do tipo de fonte sonora, a absorção atmosférica, as condições atmosféricas predominantes (por exemplo, direção do vento, variações de temperatura e humidade relativa do ar) e a presença de obstáculos (por exemplo, muros, edifícios, barreiras acústicas, etc.).

São usados diversos métodos para descrever a propagação do som. Em geral dividem-se em três tipos, a saber:

- A acústica ondulatória baseia-se em encontrar soluções para as equações que regem a propagação das ondas;

- A acústica estatística baseia-se em alguns pressupostos, o mais importante é considerar que o campo acústico é uniforme na zona em que se propaga;

- A acústica geométrica baseia-se em teorias utilizadas na ótica geométrica.

A acústica geométrica é uma simplificação do fenómeno de propagação do ruído dado que considera que os raios sonoros se comportam exatamente como raios de luz. As leis de Snell e de Descartes também podem ser utilizadas em acústica geométrica.

A propagação das ondas sonoras não é um problema simples. Para evitar análises complexas as ondas são concebidas de um modo ideal, mas irrealista: podem ser esféricas, cilíndricas ou planas. Na prática, as ondas esféricas, provenientes de uma fonte tipo pontual (por exemplo o ruído emitido de um martelo pneumático ou de um veículo automóvel), as ondas cilíndricas, provenientes de uma fonte tipo linear (por exemplo o ruído de uma via de tráfego rodoviário ou ferroviário) e as ondas planas, provenientes de uma fonte tipo planar (ruído emitido por uma superfície, como por exemplo as paredes exteriores de uma nave industrial, entrada de um túnel).

A propagação de ondas acústicas é em geral muito mais complexa que as descrições idealizadas. Estas aproximações são válidas apenas em casos específicos. No entanto servem para descrever o fenómeno físico e permitem a utilização de técnicas de cálculo normalizadas.

Fontes Pontuais:

Quando as frentes de onda se apresentam como esferas concêntricas, está-se na presença de ondas esféricas. Estas são geradas por fontes pontuais. Na prática se o recetor se encontra suficientemente longe da fonte (i-e. a uma distância maior que as dimensões da fonte e do comprimento de onda radiado), as frentes de onda podem considerar-se como sendo esféricas, mas apenas nestas condições específicas.

Para uma fonte omnidirecional (i-e. uma fonte que radia em todas as direções com a mesma intensidade) a potência acústica está uniformemente distribuída ao longo de toda a frente de onda. Então a intensidade acústica é igual à potência acústica a dividir pela área da frente de onda em questão. Dado o facto de a área da frente de onda aumentar com o quadrado do raio da esfera, a intensidade acústica decresce com o quadrado do raio e a pressão acústica decresce em função do inverso do raio.

Quando se dá a propagação de ondas esféricas, um dado nível de pressão sonora decrescerá em 6 dB cada vez que se dobra a distância entre a fonte e o recetor. Se o solo

é rígido e refletivo, deve ser feita uma compensação para as reflexões. Ilustra-se esta situação na Figura 4.

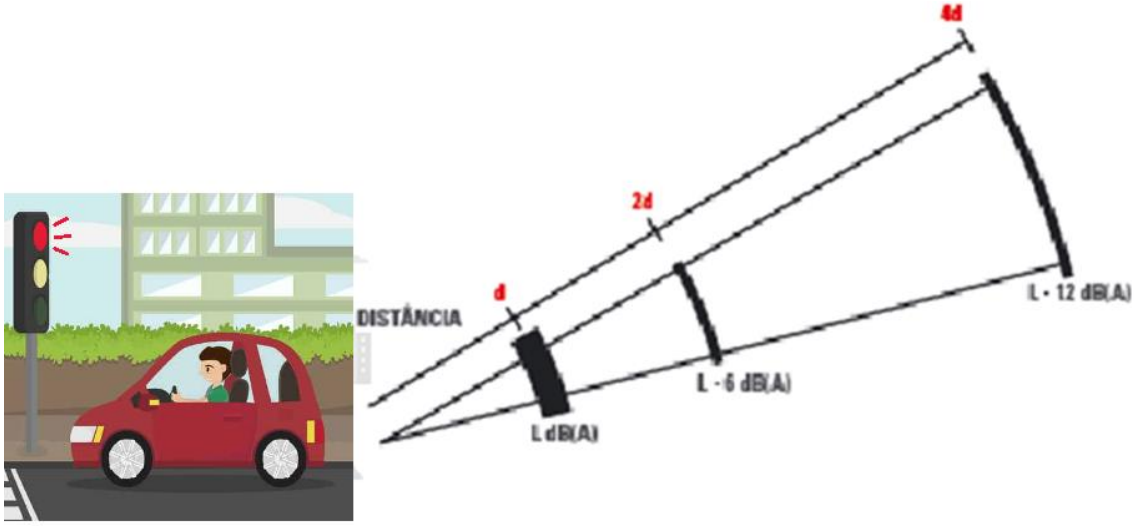


Figura 4 - Propagação de uma fonte sonora do tipo pontual (adap. de iambiente.pt)

Fontes Lineares:

Com base no estabelecido anteriormente, as fontes lineares e planares podem ser consideradas como sendo constituídas por um número infinito de fontes pontuais distribuídas uniformemente numa linha ou num plano. O comportamento geral é então determinado através da integração dos efeitos individuais de cada fonte pontual através do comprimento ou da área total. Portanto a energia sonora em qualquer direção perpendicular é inversamente proporcional ao aumento da circunferência do cilindro, criado pelo ruído. Isto resulta numa redução de somente 3 dB no nível sonoro relativo por dobro da distância. A Figura 5 ilustra a propagação de ondas sonoras cilíndricas provenientes da passagem de um comboio.

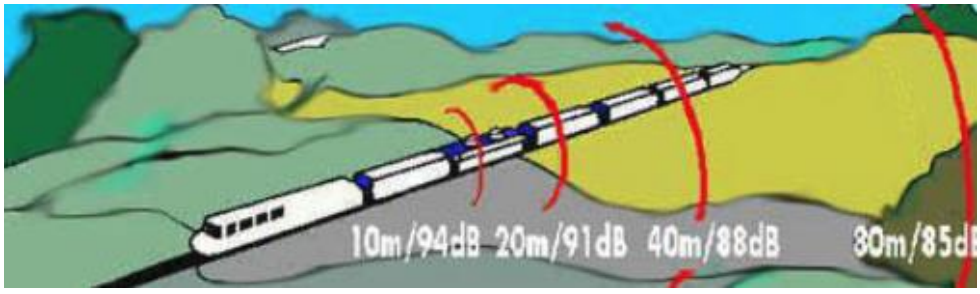


Figura 5 - Propagação de uma fonte sonora do tipo linear (estudijas.llu.lv)

Fontes Planares:

Para uma fonte planar, integrando um número infinito de fontes pontuais distribuídas em duas dimensões produz uma superfície plana. Portanto, a propagação através de uma fonte planar aproxima-se a uma onda plana, assumindo uma superfície infinita. A energia sonora de cada fonte pontual é, no entanto, assumida a propagar através de uma linha reta normal ao plano, o que significa que não será necessário considerar uma propagação geométrica dado que não há alterações ao longo da área superficial que propaga a onda sonora, isto é, a onda irá se manter sempre plana e sempre perpendicular ao seu percurso.

Efeitos Atmosféricos:

A atenuação dos níveis sonoros com a distância à fonte, como referido anteriormente, não está associada a perdas de energia sonora, mas sim a uma diminuição da densidade de ondas provocada pelo aumento da superfície da frente da onda sonora, este fenómeno é designado por atenuação devido a divergência. Todavia, existem outros fenómenos que podem influenciar significativamente a propagação do som, os efeitos atmosféricos que incluem a influência da humidade, a influência do vento e a influência da variação da temperatura.

Ventos Predominantes:

A influência do vento na propagação de ondas sonoras, sobretudo para distâncias à fonte relativamente elevadas, é um dos fatores que influência a propagação das ondas sonoras na atmosfera. Os ventos fazem aumentar o som na direção do vento e fazem diminuir o som na sua direção contrária. Este não é exclusivamente o resultado da velocidade do vento, mas também é devido à deformação da onda esférica através dos ventos predominantes. É representado na Figura 6 o efeito do vento na propagação do som emitido por uma fonte pontual.

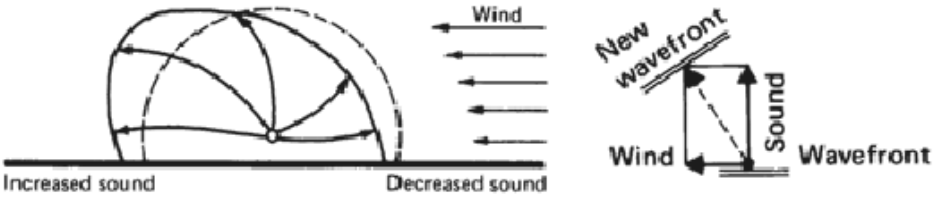


Figura 6 - Influência do vento na propagação do som (Silva, L. 2008)

Gradientes de Temperatura e Humidade Relativa:

A velocidade do som depende da temperatura ambiente onde o som se propaga, quanto maior a temperatura maior é a velocidade do som. Isto quer dizer que quando a temperatura próxima ao solo é maior do que aquela existente no ar longe do solo, as ondas sonoras tendem a formar um arco. Portanto menos energia chegará ao recetor a alguma distância ao nível do solo. À noite, quando a superfície do solo é mais fria do que o ar acima dele, ocorre o inverso (para uma dada quantidade de energia sonora a área de distribuição é reduzida). É representado na Figura 7 o efeito da temperatura na propagação do som emitido por uma fonte pontual.

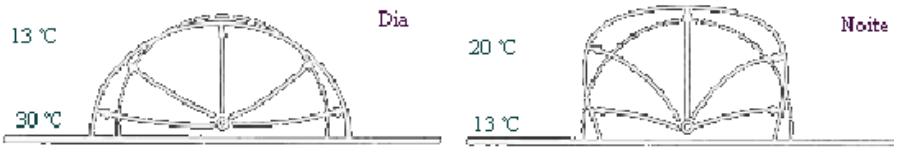


Figura 7 - Influência da variação da temperatura na propagação do som (Silva, L. 2008)

A Figura 8 apresenta a influência da humidade relativa e da temperatura do ar na atenuação do som. O gráfico da esquerda mostra a atenuação do som em função da humidade relativa do ar para duas frequências diferentes e a uma temperatura de 20ºC. Enquanto o gráfico da direita mostra a atenuação do som em função da temperatura para três valores diferentes de humidade relativa.

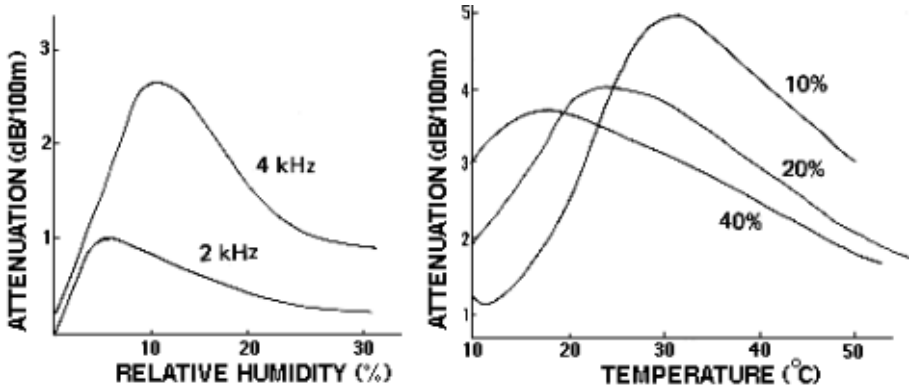


Figura 8 - Influência da humidade relativa do ar na atenuação das ondas sonoras (Silva, L. 2008)

Obstáculos à propagação do som:

Quando o som, e em particular o ruído, atinge um obstáculo, uma parte dessa energia é refletida e a restante é absorvida, dissipando-se sob a forma de calor, sendo eventualmente transmitida através do obstáculo em questão. Quando se interpõe, por exemplo, uma barreira acústica entre a fonte sonora e o recetor, a propagação sonora é fortemente alterada, e vários percursos da onda sonora podem se diferenciar como ilustrado na Figura 9.

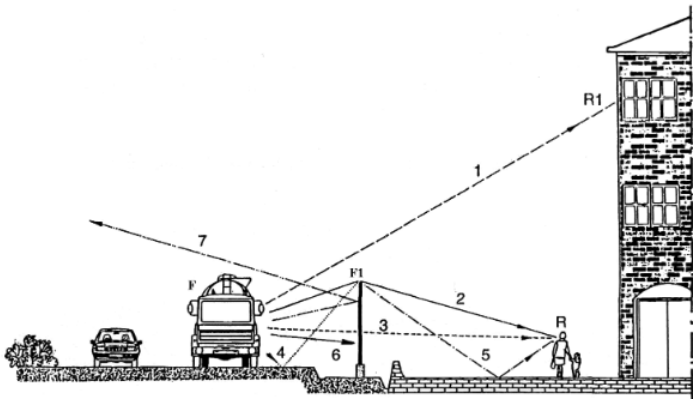


Figura 9 - Propagação do ruído emitido de uma estrada na presença de uma barreira acústica (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995)

Na Figura 9, podem-se visualizar os vários fenómenos ocorridos durante a propagação do ruído na presença de um obstáculo, que neste caso é uma barreira acústica, a saber a reflexão, a absorção, a transmissão e a difração. Como resultado destes fenómenos na propagação do ruído emitido por um via rodoviária na presença de uma barreira acústica, podem-se diferenciar as várias trajetórias das ondas sonoras:

1. Onda sonora emitida diretamente da fonte F e que atinge o recetor R1

2. Onda sonora devida ao efeito de difração ocorrida nos bordos da barreira acústica que atinge o recetor R

3. Onda sonora devida ao efeito de transmissão através da barreira acústica que atinge o recetor R

4. Onda sonora refletida no solo proveniente da fonte F

5. Onda sonora refletida no solo, proveniente do efeito de difração ocorrida nos bordos da barreira acústica que atinge o recetor R

6. Onda sonora absorvida pela barreira acústica

7. Onda sonora refletida pela barreira acústica

Os edifícios e muros constituem também obstáculos à propagação do ruído proveniente, por exemplo do tráfego rodoviário, as Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13, ilustram a propagação horizontal e vertical do ruído emitido por uma estrada em duas situações distintas, na presença de edifícios e em campo aberto.



Figura 10 - Propagação vertical do ruído emitido por uma estrada ladeada por dois edifícios (Silva, L. 2008)

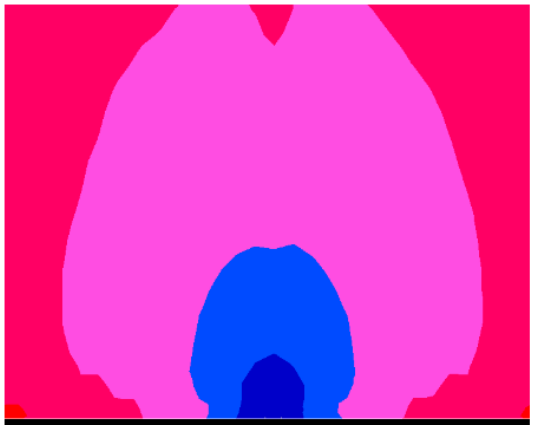


Figura 11 - Propagação vertical do ruído emitido por uma estrada de campo aberto (Silva, L. 2008)

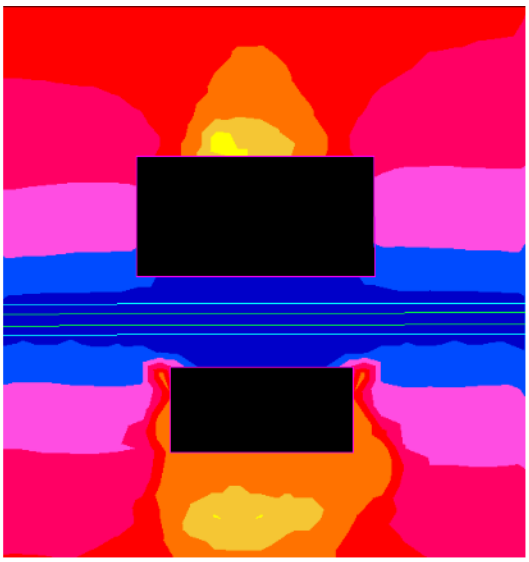


Figura 12 - Propagação horizontal do ruído emitido por uma estrada ladeada por dois edifícios (Silva, L. 2008)

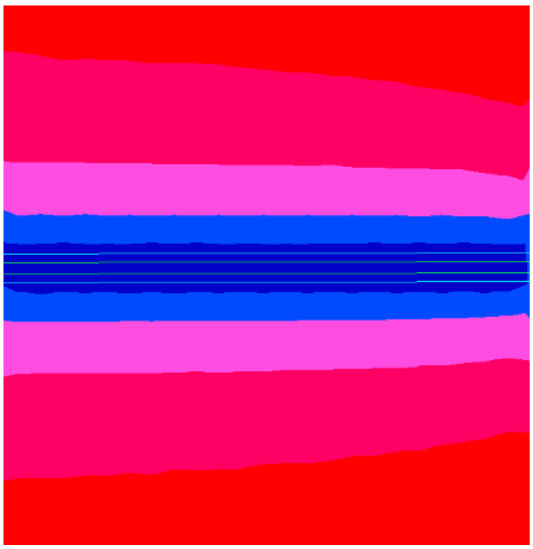


Figura 13 - Propagação horizontal do ruído emitido por uma estrada em campo aberto (Silva, L. 2008)

Reflexão:

O fenómeno da reflexão consiste na mudança da direção da propagação da energia sonora, através do retorno da energia incidente em direção à região de onde foi originada, após entrar em contacto com uma superfície. A reflexão especular ocorre quando as ondas encontram superfícies lisas, formando, com a normal, ângulos de incidência iguais aos ângulos de reflexão (lei da reflexão sonora), ou que no caso de existir alguma rugosidade esta tenha comprimento menor do que o comprimento da onda incidente.

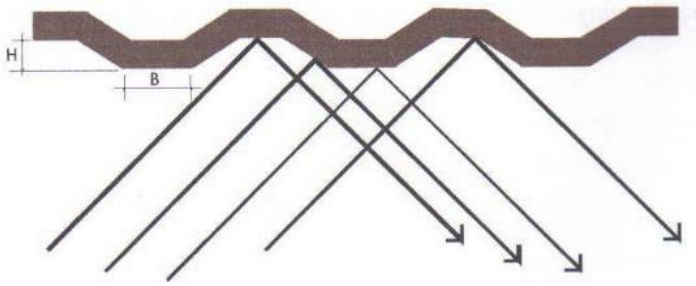


Figura 14 - Reflexão especular (Adaptado de METHA, JOHNSON; e ROCAFORT (1999))

A reflexão difusa ou difusão sonora ocorre quando as ondas encontram superfícies rugosas, imperfeita, e o som incidente é refletido em várias direções. Esta situação ocorre, porque o comprimento de onda é menor que as dimensões (H) e (B) da superfície rugosa

(ver Figura 15). Na prática, existe a mistura de ambos os tipos de reflexão resultando numa reflexão mista.

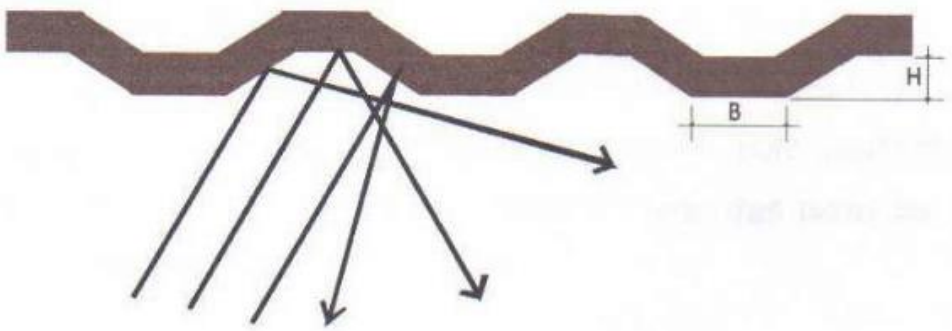


Figura 15 - Reflexão difusa ou Difusão sonora (Adaptado de METHA, JOHNSON; e ROCAFORT (1999))

Difração:

A difração sonora ocorre quando há o desvio das ondas sonoras por estas encontrarem um obstáculo ou uma abertura de tamanho igual ao seu comprimento de onda.

Se a largura do obstáculo for menor do que o comprimento de onda, o som continua a propagar-se, rodeando o obstáculo e atravessando a abertura, sem sofrer nenhuma variação. Se por outro lado, a largura for maior do que o comprimento de onda, há distorção da onda sonora. No obstáculo, aparece uma zona de sombra atrás da superfície recetora e parte da energia sonora é refletida e absorvida.

Absorção:

O fenómeno da absorção ocorre quando a superfície absorve a energia das ondas sonoras incidentes na superfície. A quantificação de absorção sonora é obtida pelo coeficiente (α). O coeficiente de absorção (α) é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície (I_a) e uma intensidade sonora qualquer (I_o) que atinge esta superfície, ou seja (Equação 8):

$$a = I_a / I_o$$

(Equação 8)

Onde: a - é o coeficiente de absorção sonora, [m2]; Ia - é a intensidade sonora absorvida por uma superfície, [W]; Io - é a intensidade sonora incidente, [W/m2].

2.1.5 Como controlar/reduzir o ruído

São várias as formas de reduzir o ruído ambiente, podendo-as sistematizar da seguinte forma: medidas de proteção ativa (atuação na fonte), medidas de proteção passiva (atuação na propagação) e ainda intervenção direta nos recetores. As primeiras consistem essencialmente na intervenção direta na fonte produtora de ruído, e podem-se notabilizar as intervenções no tipo de pavimento utilizado, intervenções no perfil de vias rodoviárias, medidas de acalmia de tráfego (por exemplo a redução da velocidade de circulação, segregação de tráfego, modificação das bermas, e outras), e gestão de tráfego (por exemplo segregação de tráfego em determinadas vias, limitação de circulação em determinadas vias, etc.). As segundas consistem na intervenção durante a propagação do ruído, isto é, agindo durante o percurso entre a fonte de ruído e o recetor, como por exemplo a colocação de barreiras acústicas, cortinas arbóreas, túneis artificias, entre outras. As terceiras incluem medidas levadas a cabo nos edifícios, colocação de caixilharia dupla.

É de ter em conta que as medidas de controlo de ruído deverão ser hierarquizadas dando primeira prioridade à atuação na fonte, depois as medidas de atuação no meio de propagação e em último recurso, por ser mais dispendiosas e menos abrangentes e assim menos eficaz, a atuação no recetor.

2.1.5.1 Medidas de atuação na fonte

O ruído produzido pelo fluxo de tráfego depende de vários fatores, nomeadamente do número e tipo de veículos que circulam, daí haver diferenciação entre veículos ligeiros e pesados, e do modo de condução. Os veículos ligeiros e pesados têm diferentes contribuições para o ruído ambiente no que diz respeito à energia sonora emitida bem como ao conteúdo do espectro de frequências. O ruído emitido pelo veículo, em termos de energia e frequência emitida depende principalmente de três fatores, depende do perfil aerodinâmico do veículo, depende do ruído emitido pela carroçaria e finalmente depende do ruído produzido pela relação pneus/pavimento.

Este último tipo de ruído é atualmente o que mais contribui para o ruído emitido por todas as classes de veículos, mesmo a velocidades moderadas, e é o tipo de pneus do veículo e a natureza do pavimento que influenciam o modo de condução.

A Figura 16 ilustra os níveis de ruído medidos na berma da estrada e no interior dos veículos para vários tipos de pavimento.

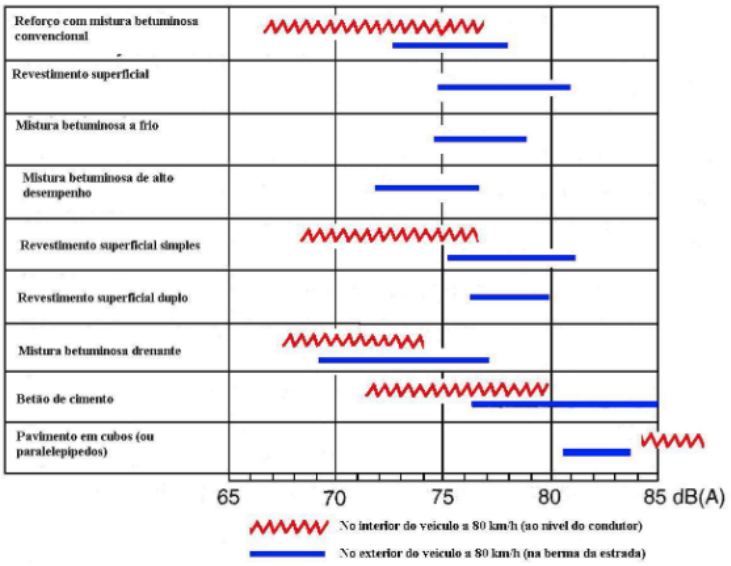


Figura 16 - Níveis de ruído atingidos de acordo com o tipo de pavimento (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995)

2.1.5.2 Medidas de atuação na propagação

As medidas nas vias e nas áreas de território que a estas fazem confrontação, são medidas que devem ser tomadas na face de planeamento, dado que só dessa forma é possível ter uma ação antecipada do problema. Medidas de redução de ruído devem ser aplicadas não de uma forma desgarrada, mas coordenadas com os melhoramentos a outros problemas ambientais, como por exemplo impacte visual causado ou poluição atmosférica produzida.

2.1.5.3 Medidas de atuação no recetor

Forma urbana:

Esta relaciona-se diretamente com o espaço, a densidade construtiva, a disposição e a forma das edificações, disposição e características das vias e os espaços verdes, que consequentemente transformam o ambiente sonoro (Figura 17).

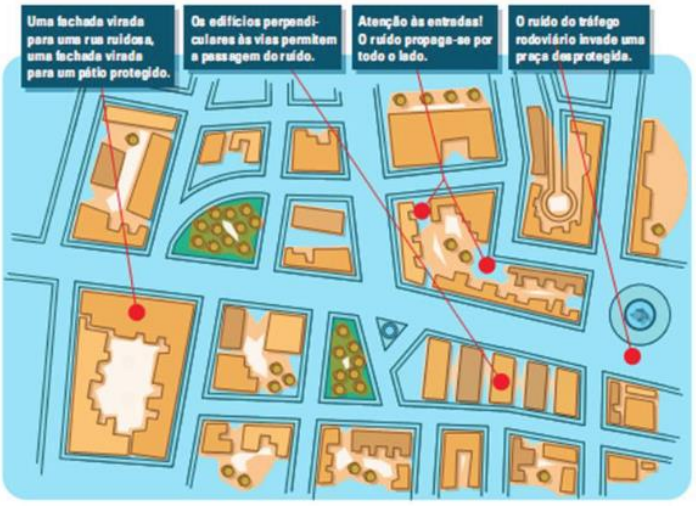


Figura 17 - As formas urbanas ((Silva, L. 2008, apud IA, 2004)

A propagação da energia sonora não se comporta de forma igual num campo totalmente livre ou num espaço com obstáculos sendo assim importante o estudo da forma urbana. Num espaço aberto a redução do som varia consoante a distância percorrida, ou seja, varia conforme o afastamento à fonte produtora de ruído e num espaço com obstáculos este altera-se consoante a distância e os efeitos que o ruído sofre na presença desses obstáculos (através dos mecanismos de reflexão, absorção e difração, referidos acima na dissertação).

Os edifícios devem ser concebidos tendo em consideração a presença e a respetiva localização de eventuais fontes sonoras.

A permeabilidade de um edifício ou conjunto de edifícios está relacionada com a existência de caminhos por onde o som pode penetrar e propagar. Edifícios que sejam construídos perpendicularmente a vias são extremamente afetados pelo ruído do tráfego pois permite a passagem do ruído entre os edifícios, como ilustrado na Figura 18.

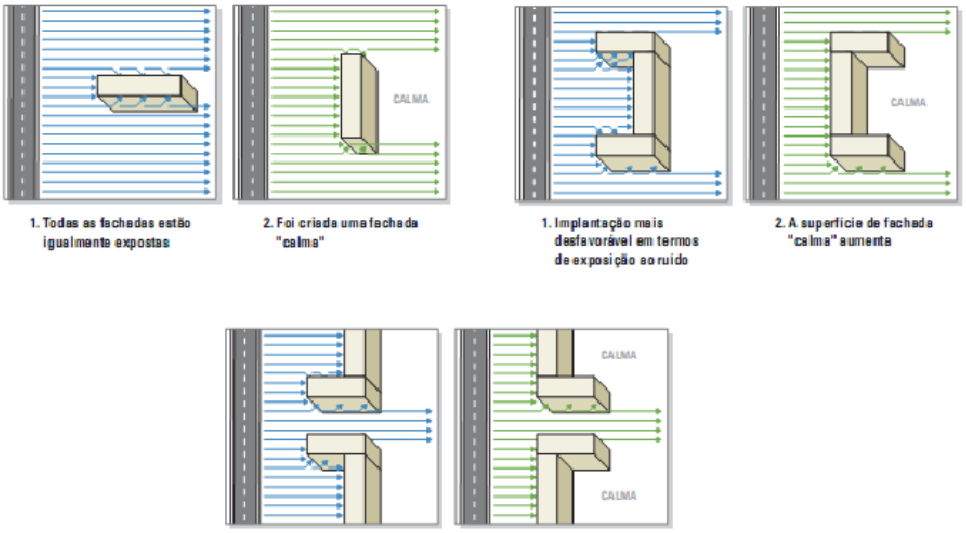


Figura 18 - Exemplos de formas urbanas

A disposição dos edifícios pode ser realizada por forma a que as divisões menos sensíveis ao ruído (galerias de acesso, escadas, cozinhas, WC), fiquem viradas para a fachada mais exposta ao ruído, destinando as restantes fachadas para os quartos de dormir, salas de estar, etc. A construção pode ser uma boa proteção para uma área exterior de lazer, como parque, virada à fachada menos exposta como ilustrado na Figura 19.

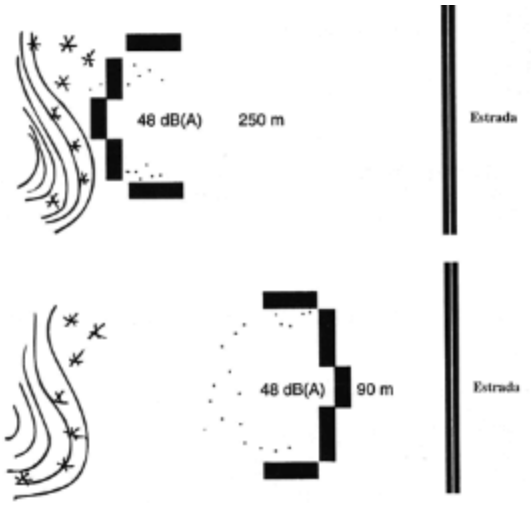


Figura 19 - Localização de edifícios privilegiando a criação de zonas calmas (Silva, L. 2008, apud OECD, 1995)

2.1.6 Enquadramento legal do ruido ambiental em Portugal/Guimarães

Em Portugal, o ruído está regulamentado através do Regulamento Geral do Ruído (RGR), publicado no Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro. Este diploma legal introduz, à semelhança do seu precursor Decreto-Lei nº 292/2000, de 14 de novembro, a consideração do variável ruído urbano em sede de planeamento.

Neste quadro, estabelece que a execução da política de ordenamento do território e de urbanismo deve assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a distribuição adequada das funções de habitação, trabalho e lazer.

Sendo o mapa de ruído elemento fundamental para a informação acústica das áreas objeto de estudos de âmbito municipal, é uma ferramenta estratégica de análise e planeamento que permite visualizar condicionantes dos espaços por requisitos de qualidade do ambiente acústico (Silva L. 2007).

.

Às zonas sensíveis e mistas estão associados a valores máximos admissíveis de ruído ambiente no exterior. Nos termos do RGR, a aplicação do critério de exposição máxima obriga a que as zonas sensíveis não devam ficar expostas a um Lden(A), superior a 55 dB(A) e a um Ln(A) superior a 45 dB(A) e as zonas mistas não devam ficar expostas a um Lden(A) superior a 65 dB(A) e a um Ln(A) superior a 55 dB(A). (Silva L. M., Avaliação do ruído e poluição atmosférica resultante do tráfego em Viana do Castelo, 2010)

2.2 Instrumentos de Planeamento no Âmbito do Ruído Ambiental do Município de Guimarães

2.2.1 Mapa Municipal de Ruído de Guimarães

O mapa de ruído do município de Guimarães foi desenvolvido com recurso a um modelo de previsão de ruído e complementados com medições acústicas para validação do modelo.

A previsão dos níveis sonoros teve em consideração a contribuição do tráfego rodoviário, as fontes industriais, as informações geográficas e físicas relativas ao concelho e os fenómenos físicos mais relevantes na radiação e propagação das ondas sonoras. No cálculo dos níveis de ruído rodoviário, o modelo utilizado teve como parâmetros de entrada o tráfego rodoviário (densidade, composição e velocidade média de circulação), as características do pavimento (betuminoso, cubo, macadame, ...) e o tipo de tráfego (fluído, ininterrupto ou em aceleração).

No cálculo dos níveis de ruído industrial, o modelo teve como parâmetros de entrada o tipo de indústria, o tempo de laboração e os níveis de ruído medidos nas periferias dos polígonos industriais.

A caraterização do tráfego contou com contagem de tráfego nas principais vias de circulação, pois nas vias com fluxo de tráfego reduzido a sua consideração resultaria, no programa de cálculo, mascarado pelo ruído produzido pelas vias de mais elevado tráfego.

A contagem foi feita em dias típicos, ou seja, dias que se pode considerar normais e representativos, para que isto aconteça são escolhidos dias sem eventos, dias não de feira, dias com boas condições climatéricas, locais em que não tenha havido acidentes rodoviários e locais sem obras da estrada.

Este tipo de contagem de tráfego não pode ser feito a qualquer hora do dia, nem todo o dia, então são escolhidos períodos no dia que não sejam horas de ponta, como de manhã ou ao fim da tarde, pois estes períodos do dia é quando as pessoas estão a ir e vir dos seus empregos.

Depois com os valores de contagem de tráfego obtidos foram colocados num programa de cálculo automático (CadnaA), obtendo-se os mapas de ruído. (fonte: https://www.cm-

guimaraes.pt/municipio/camara-municipal/servicos/ambiente/mapa-de-ruido?folders_list_60_folder_id=1608).

Nas Figura 20 e Figura 21 ilustram-se os mapas de ruído Lden, da zona Norte e Sul do município de Guimarães.

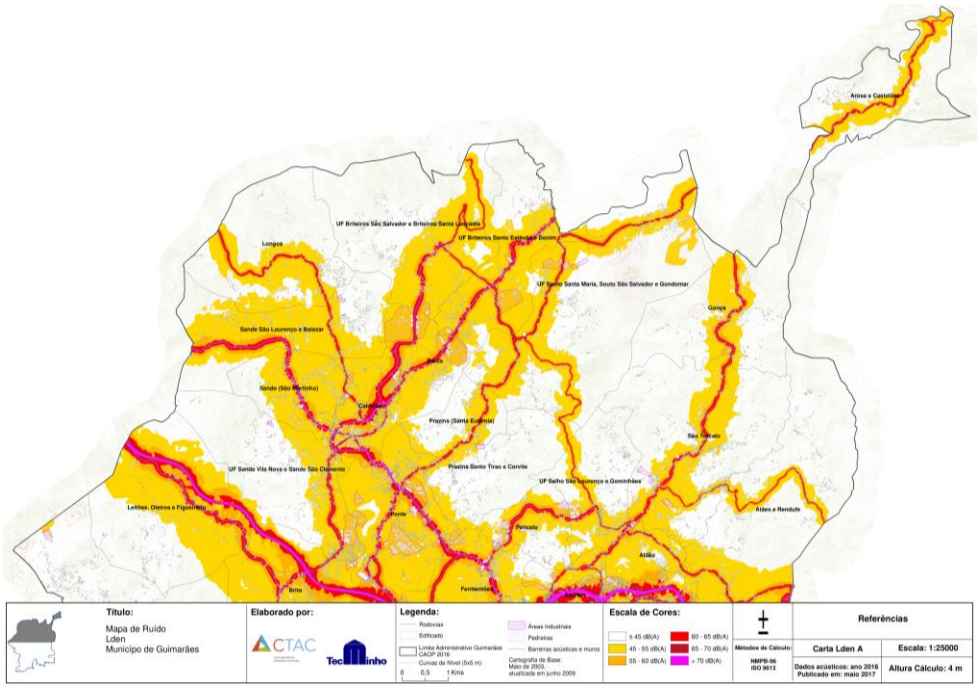


Figura 20 - Mapa do ruído Lden em Guimarães (Norte)

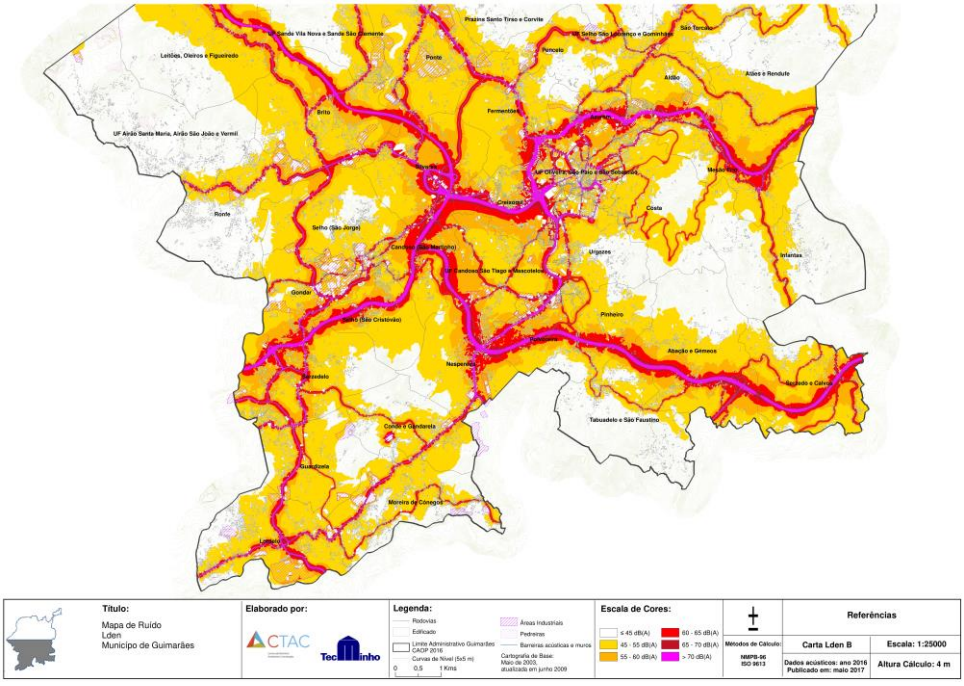


Figura 21 - Mapa do ruído Lden em Guimarães (Sul)

Nas Figura 22 e Figura 23 ilustram-se os mapas de ruído Ln, da zona Norte e Sul do município de Guimarães.

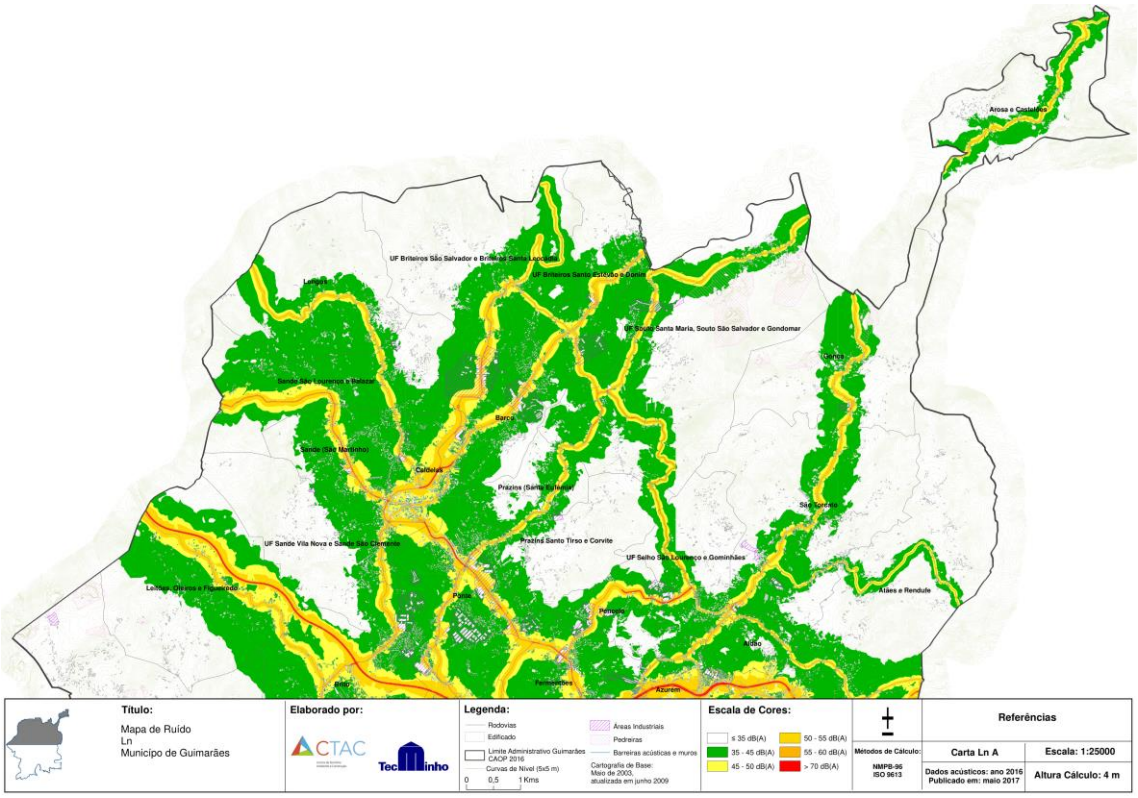


Figura 22 - Mapa do ruído Ln em Guimarães (Norte)

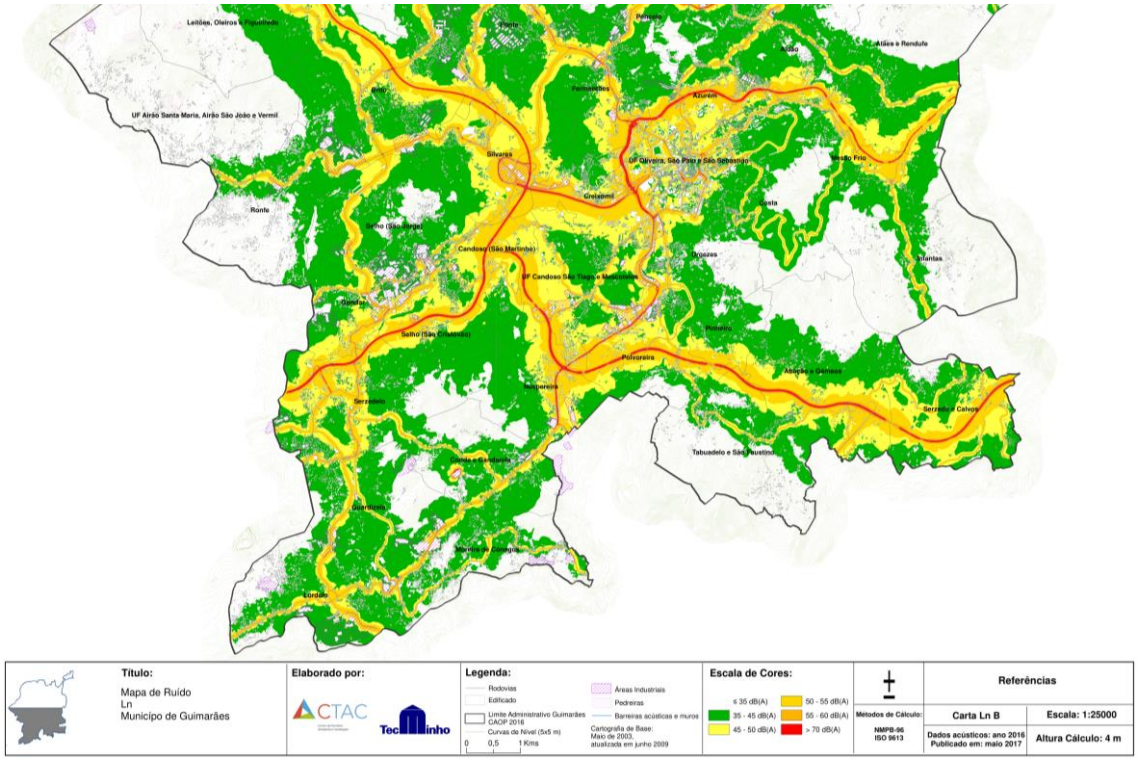


Figura 23 - Mapa do ruído Ln em Guimarães (Sul)

2.2.2 Mapa de Zonamento Acústico ou Mapa de Classificação de Zonas Acústicas

O Mapa de Zonamento Acústico ou Mapa de Classificação de Zonas Acústicas, classifica o território urbano, de acordo com o seu uso, em Zonas Sensíveis e Zonas Mistas e Zonas Sensíveis em proximidade de GIT (Figura 24 e Figura 25)

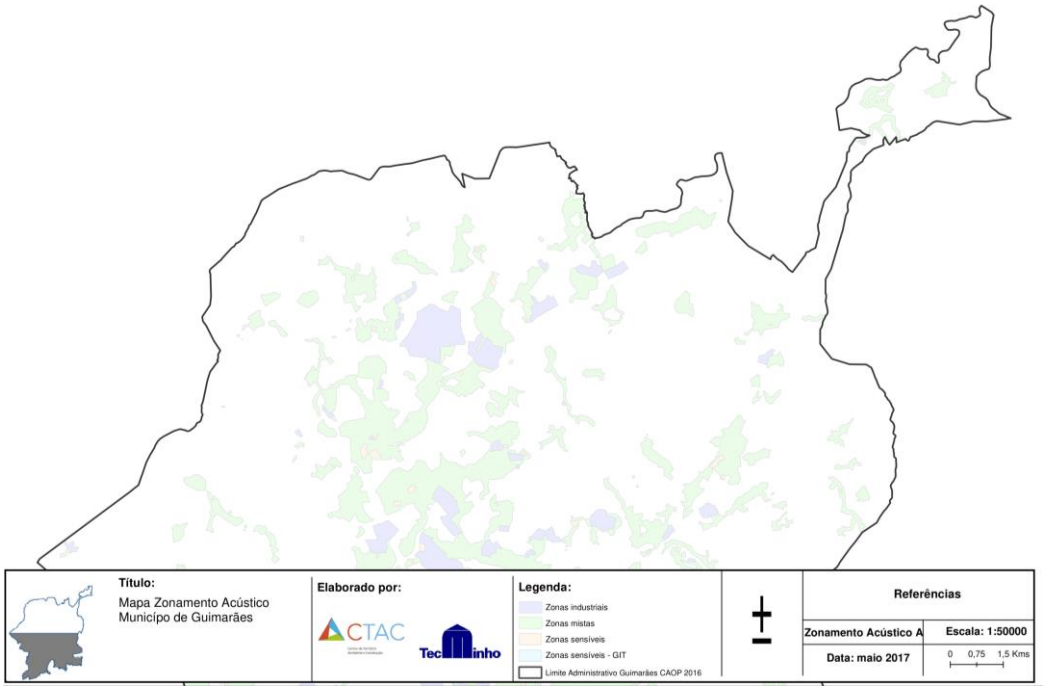


Figura 24 - Mapa de zonamento acústico de Guimarães (Norte)

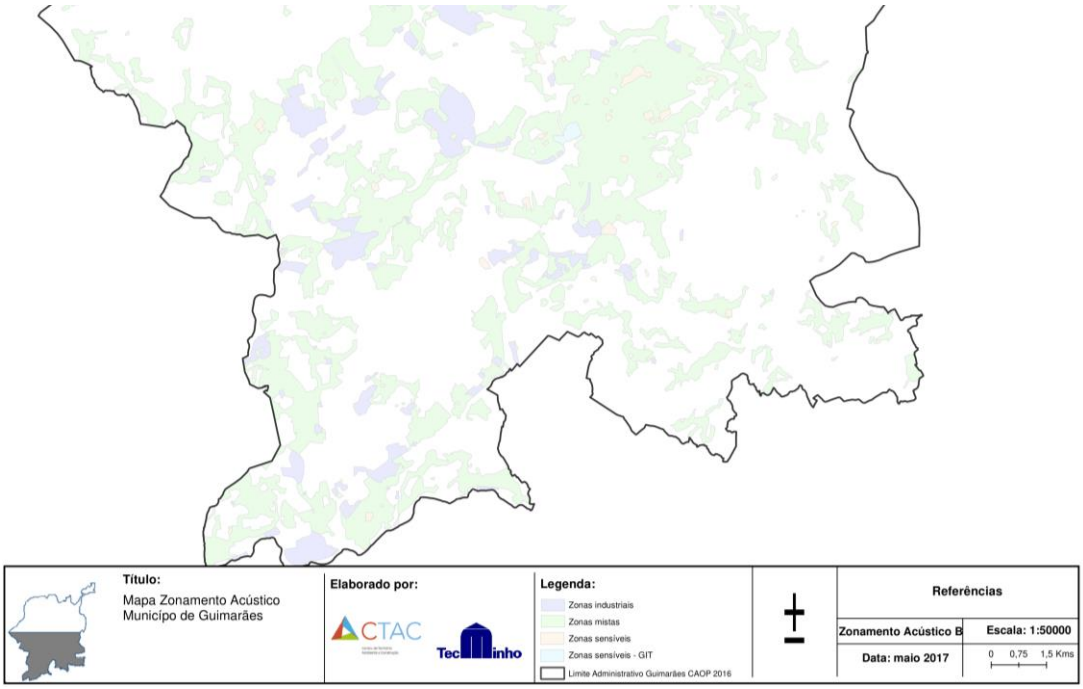


Figura 25 - Mapa de zonamento acústico de Guimarães (Sul)

2.2.3 Mapa de conflito acústico

As Figura 26, Figura 27, Figura 28 e Figura 29 ilustram os mapas de conflito Lden e Ln do município de Guimarães. Os mapas de conflito foram conseguidos a partir da intersecção dos mapas de ruído com o mapa de classificação de zonas. Obtendo apenas as zonas sobre-expostas ao ruído, isto é, zonas de conflito acústico.

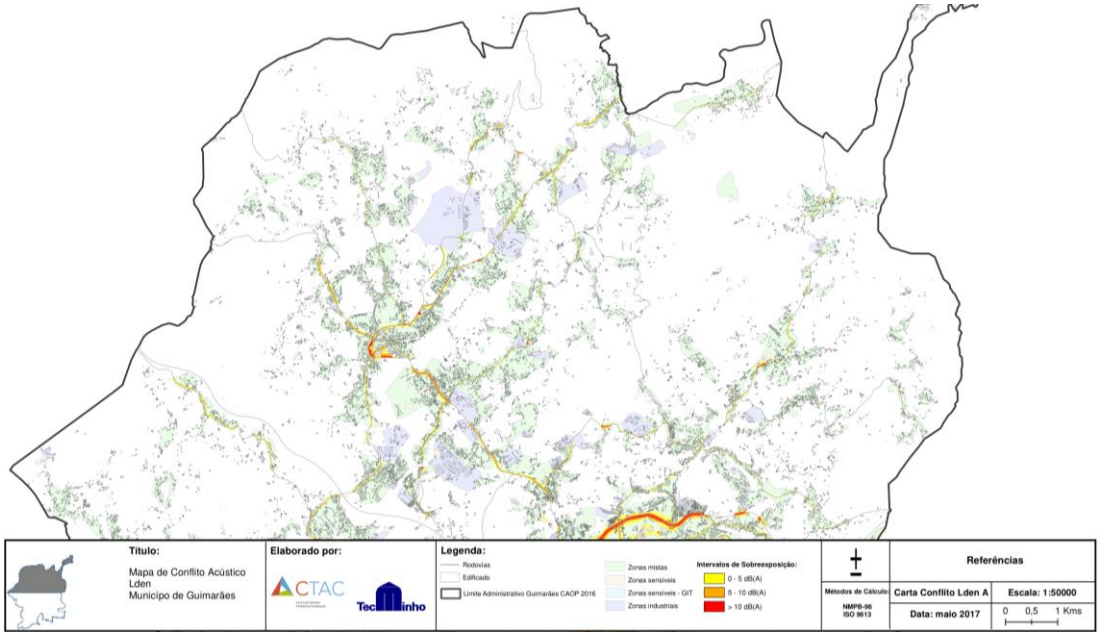


Figura 26 - Mapa de conflito acústico Lden em Guimarães (Norte)

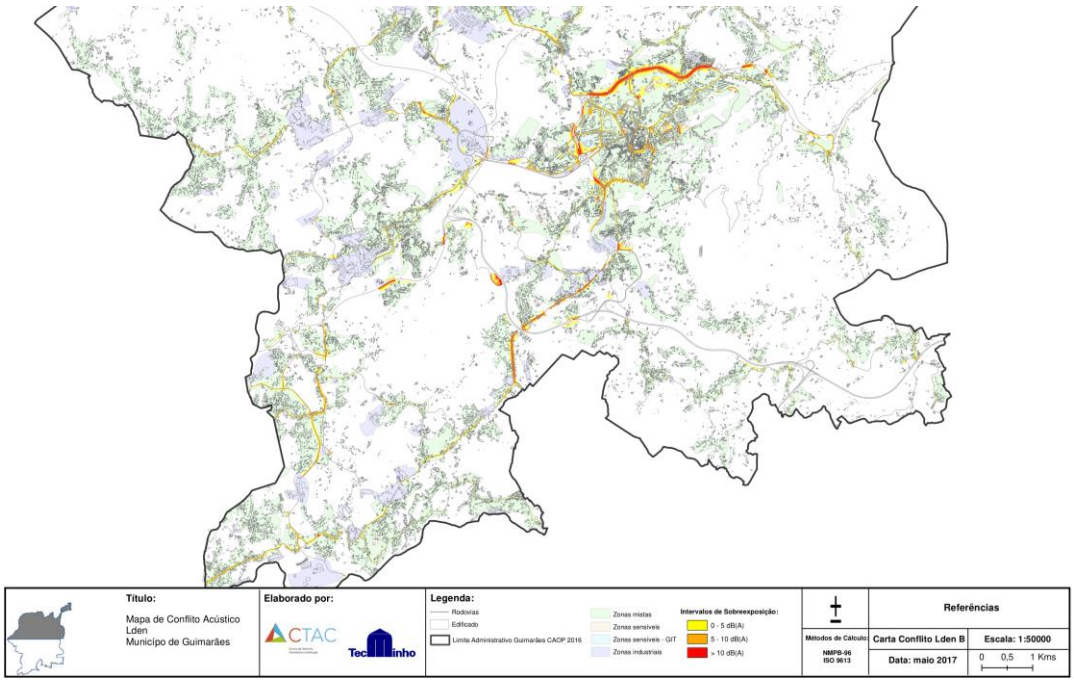


Figura 27 - Mapa de conflito acústico Lden em Guimarães (Sul)

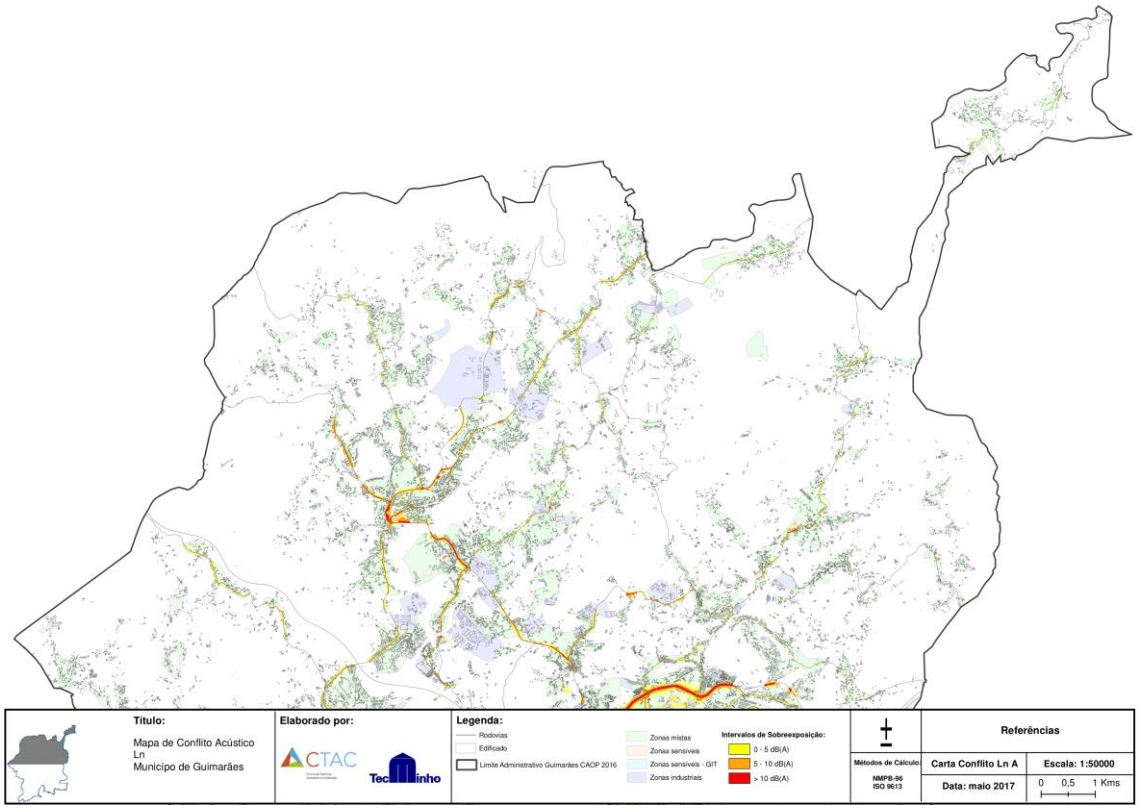


Figura 28 - Mapa de conflito acústico Ln em Guimarães (Norte)

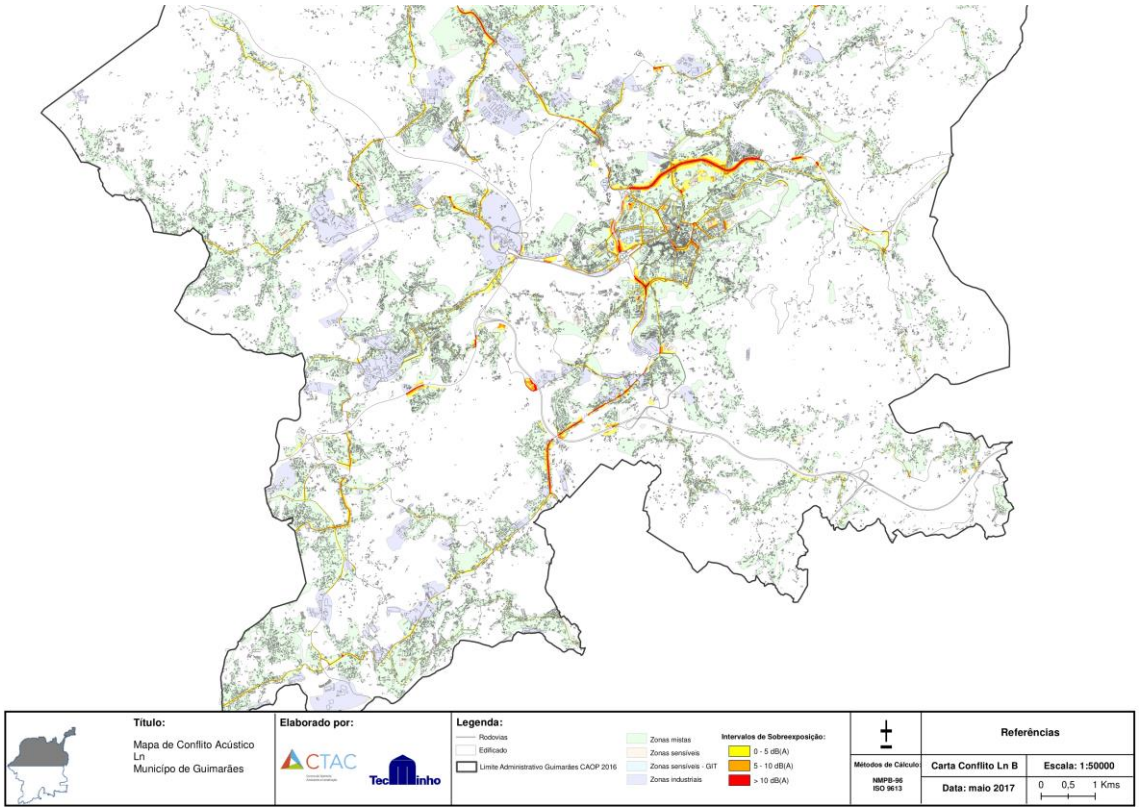


Figura 29 - Mapa de conflito acústico Ln em Guimarães (Sul)

2.2.4 Plano Municipal de Redução de Ruído

O Plano Municipal de Redução do Ruído (PMRR) tem como documentos de apoio o Mapa de Ruído do Município Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23, a Carta de Classificação de Zonas Figura 24 e Figura 25 que fazem parte integrante do Plano Diretor Municipal de Guimarães. O Plano Municipal de Redução de Ruído visa reduzir o ruído ambiente nas zonas de conflito acústico através da implementação de um conjunto de medidas de redução de ruído.

3 METODOLOGIA

A caracterização do ruído ambiente da cidade de Guimarães foi baseada em métodos previsionais e complementada com medições acústicas para calibração do modelo.

A criação do mapa de ruído foi feita através de um programa de cálculo automático, CadnaA que recorre, para o cálculo do ruído de tráfego automóvel, ao método de cálculo provisório NMPB96. Neste programa foi desenvolvido o modelo de cálculo através da introdução em ambiente CadnaA, as estradas, curvas de nível, edifícios e o fluxo de tráfego horário por tipo (pesados e ligeiros), que circula em cada via.

Em 2017, uma contagem de tráfego foi feita em todo o município de Guimarães para formulação o mapa de ruído do município, ilustrado nas Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23. Estes dados serviram de base para caraterizar o ruído no caso de estudo e estabelecer a situação antes da intervenção. Contudo, em 2019, antes do início das obras, foi feito um levantamento do tráfego, pelas Infraestruturas de Portugal, nas entradas e saídas da rotunda de Silvares. Como os valores obtidos na contagem, feita pela Infraestruturas de Portugal são mais recentes, optou-se por utilizar estes valores para a caraterização da situação antes da intervenção. As restantes vias, na proximidade da rotunda, sofreram um ajusto relativo, por intervalo, diurno, entardecer e noturno, devido à diferença observada do tráfego entre 2017 e 2019.

Na modelação da rotunda após a criação da passagem desnivelada, que liga a entrada da autoestrada ao centro de Guimarães, houve a necessidade de caraterizar o tráfego que ali circula. Assim outra contagem de tráfego teve de ser feita para permitir a avaliação entre o antes e o após a intervenção.

Para a contagem pós-intervenção recorreu-se à utilização de uma camara de vídeo localizada estrategicamente para possibilitar a contagem de veículos em todos os troços da rotunda.

Por forma a obter valores representativos de um dia, foram adotados períodos típicos do dia que mais representavam as variações de um dia tipo. Estes períodos foram das 08h30min até às 09h30min, caraterizando o período de pico do início da manhã. O período das 10h30min às 11h00min este período é mais calmo por ser a meio da manhã, também poderia ser feito a meio da tarde. O período das 12h15min até 12h45min com o

objetivo de caraterizar os fluxos de saída para almoço. O período de pico de final da tarde, das 18h00min às 19h00min é o período que as pessoas estão no regresso a casa depois de sair do emprego, por fim para ter uma medição de entardecer foi feita uma medição entre as 21h00min e 21h15min.

Depois de ter feito todas a gravações, nos diferentes períodos do dia, foi feita a contagem do tráfego obtendo assim o número de veículos que passaram em cada entrada e saída da rotunda, assim como na passagem desnivelada. Com estes valores foi necessário converter para veículos por hora nos três períodos do dia, diurno, entardecer e noturno.

Para obter a percentagem de veículos pesados foi utilizada a seguinte expressão:

$$\%Pesados = \frac{veículos\ pesados+BUS}{traf\ total} \qquad \text{Equação 9}$$

Depois de todos os dados obtidos foi usado um ajuste recorrendo a uma curva de tendência que está devidamente ajustada ao tipo de tráfego que circula na rotunda de Silvares. Nesta curva foi introduzida a contagem feita, adaptando-a ao modelo, para que fosse possível obter uma distribuição, do número de veículos por hora ao longo das 24 horas do dia.

Com os valores, por período, obtidos estes foram introduzidos no programa de cálculo automático CadnaA, conseguindo assim os mapas de ruído na rotunda de Silvares Lden e Ln.

4 ESTUDO DE CASO

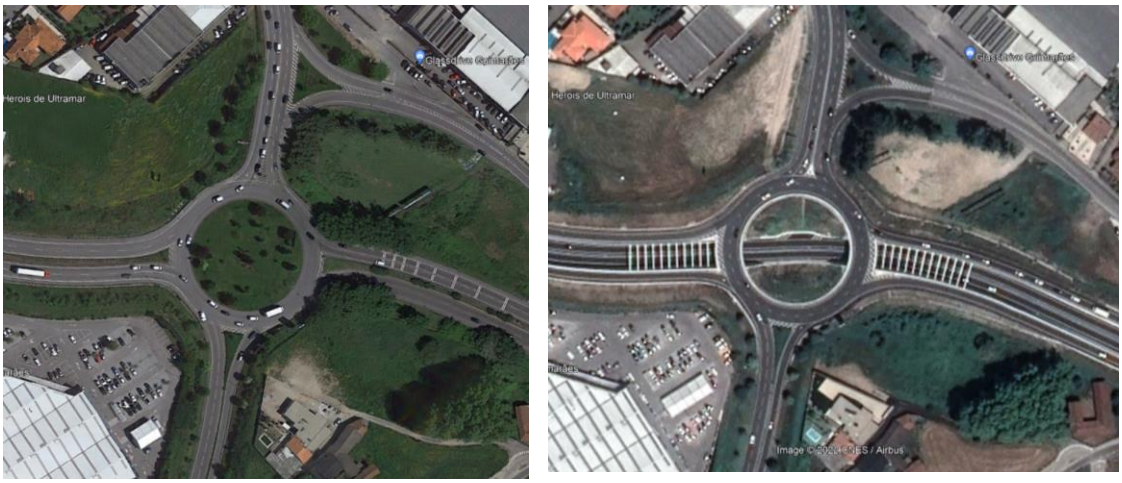
A cidade de Guimarães, inserida no distrito de Braga, região norte e sub-região do Vale do Ave, trata-se de uma cidade de média dimensão, abrangendo uma área de 240.955 km^2. O setor industrial representa 44% de empregabilidade, constituindo apenas 17.5% do total das empresas existentes em Guimarães.

Recentemente foi feito um estudo que evidenciou várias debilidades numa das principais entradas rodoviárias da cidade, mais concretamente na Rotunda de Silvares. Verificou-se que em horário de pico (manhã e final da tarde), o número de veículos que afluía aquela rotunda era muito elevado, causando filas de veículos parados de elevadas dimensões e por consequência causando elevado conflito acústico nas imediações da rotunda. O mesmo estudo apontava para a necessidade de segregar o tráfego de atravessamento (A11<-> centro da cidade) do restante tráfego que circulava na rotunda e o Mapa de Conflito de Guimarães corroborava com esta medida. Assim, em 2019, foi construída uma passagem desnivelada, permitindo um bypass à rotunda, do tráfego de atravessamento no sentido A11 -> centro da cidade e vice-versa, resultando numa maior fluidez do tráfego.

O estudo de caso trata de avaliar a eficiência da intervenção na Rotunda de Silvares no ruído ambiente produzido pelo tráfego. Assim foram estabelecidos dois cenários para avaliação do ruído ambiente, Cenário Antes da Intervenção e Cenário Após Intervenção.

4.1 Descrição do local

O local em estudo, ilustrado na Figura 30, trata-se de uma rotunda com quatro entradas e quatro saídas que em 2019 sofreu uma alteração, devido ao facto de esta rotunda ser uma das principais entradas para a cidade de Guimarães e em horas de ponta apresentar elevado congestionamento. Para resolver este problema foi introduzida uma passagem desnivelada a ligar diretamente a saída da autoestrada A11 ao centro da cidade.



Antes da intervenção Após a intervenção

Figura 30 - Vista aérea da rotunda de Silvares antes e após a intervenção (Fonte: Google Maps)

Na Tabela 1 estão os valores da contagem de tráfego feita pela Infraestruturas de Portugal em 2019, antes do começo das obras para a introdução da passagem desnivelada.

Tabela 1 - Contagem de Tráfego antes da Rotunda desnivelada (2019), fonte (Infraestruturas de Portugal).

ITIN.	Troço Inicial	2019								
		Ligeiros				Pesados				TMDA
		Diurno (07-20)	Entardecer (20-23)	Noturno (23-07)	Total	Diurno (07-20)	Entardecer (20-23)	Noturno (23-07)	Total	
Rotunda Silvares	Ramo Norte	15232	2148	2149	19529	433	46	99	578	20107
	Ramo Sul	6635	935	937	8507	82	8	20	110	8617
	Ramo Este	19896	2805	2807	25508	465	49	107	621	26129
	Ramo Oeste	15660	2208	2210	20078	720	76	164	960	21038

Na Tabela 2 listam-se os fluxos de tráfego, antes da intervenção, em todos os troços das vias da área de estudo.

Tabela 2 - Contagem de tráfego em todas as vias antes da intervenção

Nome	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)
E.N. 206 - TROCO 03 - ROTUNDA 1	326	148	39	8	3	6
NO OESTE - ROTUNDA	1352	589	51	2	2	5
E.N. 310 - TROCO 06	775	339	30	4	3	1
A11 - ACESSO NO OESTE	142	62	7	2	1	1
NO OESTE - EN206- RAMO B	629	248	32	7	1	6
ACESSO NO OESTE - TROCO 04	630	381	148	4	5	6
SAIDA NO OESTE - TROCO 04	630	381	148	7	5	3
E.N. 206 - TROCO 02 - ROTUNDA	647	295	81	5	3	2
E.N. 206 - TROCO 03	651	295	77	1	5	6
E.N. 206 - TROCO 04	1119	475	42	6	4	1
NO OESTE - EN206- RAMO C	1205	731	281	6	4	4
NO OESTE - EN 206- RAMO A	1205	731	281	8	5	4
E.N. 206 - TROCO 02	1322	650	116	3	2	6
E.N. 310 - TROCO 06	1210	529	45	8	2	7
E.N. 310 - TROCO 06	517	314	120	4	2	2
E.N. 310 - TROCO 06	1361	598	118	2	2	7
TRAVESSA DE MOURIL	355	241	41	7	3	7
RUA DA GANDRA	779	341	136	1	5	6
RUA CORGO	780	296	58	7	3	6
RUA CORGO	506	221	88	5	3	7
RAMAL DE LIGAÇÃO PEVIDEM - VARIANTE D CREIXOMIL	314	138	11	2	5	7
A11 - SAIDA NO OESTE	288	123	13	1	2	7
A7 - ACESSO NO OESTE	839	356	35	4	5	7
ACESSO N? OESTE - TROCO 01 - PORTAGEM	653	324	58	7	5	7
SAIDA NO OESTE - TROCO 01 - PORTAGEM	612	303	54	5	2	2
A7 - SAIDA NO OESTE - RAMO A	692	294	29	7	3	2
ACESSO NO OESTE - TROCO 03	630	381	148	8	1	6
SAIDA NO OESTE - TROCO 03	630	381	148	3	4	3
NO OESTE - ACESSO E SAIDA	1959	833	82	4	1	2
NO OESTE - ACESSO E SAIDA	267	116	10	1	1	7
ACESSO NO OESTE - TROCO 02 - PONTE	653	324	58	4	1	7
SAIDA NO OESTE - TROCO 02	630	381	148	6	5	2
SAIDA NO OESTE - TROCO 02 - PONTE	612	303	54	3	4	2
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01	783	476	182	1	2	6
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01	1249	633	111	8	3	4
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 02	1224	618	109	5	5	4
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 03	783	381	148	6	5	2
A11 - CELEIROS GUIMARAES	1150	490	49	6	3	4
A11 - CELEIROS GUIMARAES	1361	577	55	5	2	2
A11 - CELEIROS GUIMARAES - PONTE	746	366	74	5	2	6
A7 -LANCO AVE GUIMARAES OESTE	1188	584	121	4	1	1
A7 - LANCO AVE GUIMARAES OESTE	1831	782	80	6	2	2

Os valores obtidos da contagem de tráfego, da situação atual listam-se nas Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3 - Contagem de tráfego após a intervençao (período de pico da manhã, e a meio da manhã)

Designação da via	Período de contagem: 08h30min-09h30min			Período de contagem: 10h30min-11h00min		
	Ligeiros (veic)	Pesados (veic)	Total (veic)	Ligeiros (veic)	Pesados (veic)	Total (veic)
Saída Norte da Rotunda	1236	36	1272	461	13	474
Entrada Norte na Rotunda	991	29	1020	367	11	378
Saída Sul da Rotunda	617	7	624	234	3	237
Entrada Sul na Rotunda	356	4	360	124	2	126
Saída Este da Rotunda	504	12	516	188	4	192
Entrada Este na Rotunda	750	18	768	343	8	351
Entrada Oeste na Rotunda	275	13	288	126	6	132
Saída Oeste da Rotunda	551	25	576	146	7	153
Desnivelada Oeste-Este	887	37	924	233	10	243
Desnivelada Este-Oeste	829	35	864	239	10	249

Tabela 4 - Contagem de tráfego após a intervençao (período de almoço e pico da tarde)

Designação da via	Período de contagem: 12h15min-12h45min			Período de contagem: 18h00min-19h00min		
	Ligeiros (veic)	Pesados (veic)	Total (veic)	Ligeiros (veic)	Pesados (veic)	Total (veic)
Saída Norte da Rotunda	481	14	495	1128	33	1161
Entrada Norte na Rotunda	338	10	348	1059	30	1089
Saída Sul da Rotunda	249	3	252	495	6	501
Entrada Sul na Rotunda	148	2	150	385	5	390
Saída Este da Rotunda	193	5	198	478	11	489
Entrada Este na Rotunda	428	10	438	645	15	660
Entrada Oeste na Rotunda	123	6	129	304	14	318
Saída Oeste da Rotunda	129	6	135	413	19	432
Desnivelada Oeste-Este	209	9	218	737	31	768
Desnivelada Este-Oeste	217	9	226	688	29	717

Tabela 5 - Contagem de tráfego após a intervençao (período da noite)

Designação da via	Período de contagem: 21h00min-21h15min		
	Ligeiros (veic)	Pesados (veic)	Total (veic)
Saída Norte da Rotunda	115	2	117
Entrada Norte na Rotunda	97	2	99
Saída Sul da Rotunda	48	0	48
Entrada Sul na Rotunda	26	0	26
Saída Este da Rotunda	66	1	67
Entrada Este na Rotunda	104	2	106
Entrada Oeste na Rotunda	13	0	13
Saída Oeste da Rotunda	18	1	19
Desnivelada Oeste-Este	53	1	54
Desnivelada Este-Oeste	40	0	40

Na Tabela 6 é apresentada uma lista completa de todas as vias na proximidade da rotunda tal como a contagem de tráfego e a percentagem de pesados.

Tabela 6 - Contagem de tráfego em todas as vias após intervenção

Nome	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)
E.N. 206 - TROCO 03 - ROTUNDA 1	326.0	148.0	39.0	8.0	4.0	8.0
NO OESTE - ROTUNDA	1352.0	589.0	51.0	4.0	1.0	4.0
E.N. 310 - TROCO 06	775.0	339.0	30.0	4.0	1.0	3.0
A11 - ACESSO NO OESTE	142.0	62.0	7.0	3.0	2.0	3.0
NO OESTE - EN206- RAMO B	629.0	248.0	32.0	8.0	4.0	9.0
ACESSO NO OESTE - TROCO 04	318.0	192.0	39.0	4.4	3.3	6.9
SAIDA NO OESTE - TROCO 04	231.0	140.0	28.0	4.4	3.3	6.9
E.N. 206 - TROCO 02 - ROTUNDA	647.0	295.0	81.0	8.0	4.0	8.0
E.N. 206 - TROCO 03	651.0	295.0	77.0	8.0	4.0	8.0
E.N. 206 - TROCO 04	1119.0	475.0	42.0	8.0	3.0	6.0
NO OESTE - EN206- RAMO C	1772.0	1073.0	218.0	2.8	2.1	4.4
E.N. 206 - TROCO 02	1322.0	650.0	116.0	7.0	2.0	6.0
E.N. 310 - TROCO 06	1210.0	529.0	45.0	4.0	1.0	3.0
E.N. 310 - TROCO 06	738.0	447.0	91.0	1.2	0.8	2.1
E.N. 310 - TROCO 06	1361.0	598.0	118.0	3.0	2.0	3.0
TRAVESSA DE MOURIL	355.0	241.0	41.0	5.0	1.0	2.0
RUA DA GANDRA	779.0	341.0	136.0	5.0	5.0	5.0
RUA CORGO	780.0	296.0	58.0	4.0	4.0	4.0
RUA CORGO	506.0	221.0	88.0	4.0	4.0	4.0
RAMAL DE LIGAÇÃO PEVIDEM - VARIANTE D CREIXOMIL	314.0	138.0	11.0	3.0	1.0	1.0
A11 - SAIDA NO OESTE	288.0	123.0	13.0	3.0	2.0	2.0
A7 - ACESSO NO OESTE	839.0	356.0	35.0	9.0	4.0	5.0
ACESSO NO OESTE - PORTAGEM	653.0	324.0	58.0	6.0	2.0	5.0
SAIDA NO OESTE - PORTAGEM	612.0	303.0	54.0	6.0	2.0	5.0

Nome	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)	Dia (Veic/h)	Entardecer (Veic/h)	Noite (Veic/h)
A7 - SAIDA NO OESTE - RAMO A	692.0	294.0	29.0	10.0	5.0	6.0
ACESSO NO OESTE - TROCO 03	840.0	508.0	103.0	4.4	3.3	6.9
ACESSO NO OESTE - TROCO 03	318.0	192.0	39.0	4.4	3.3	6.9
SAIDA NO OESTE - TROCO 03	231.0	140.0	28.0	4.4	3.3	6.9
SAIDA NO OESTE - TROCO 03	783.0	474.0	96.0	4.4	3.3	6.9
NO OESTE - ACESSO E SAIDA	1959.0	833.0	82.0	8.0	4.0	5.0
NO OESTE - ACESSO E SAIDA	267.0	116.0	10.0	4.0	1.0	3.0
ACESSO NO OESTE - TROCO 02	840.0	508.0	103.0	4.4	3.3	6.9
ACESSO NO OESTE - TROCO 02 - PONTE	653.0	324.0	58.0	6.0	2.0	5.0
SAIDA NO OESTE - TROCO 02	783.0	474.0	96.0	4.4	3.3	6.9
SAIDA NO OESTE - TROCO 02 - PONTE	612.0	303.0	54.0	6.0	2.0	5.0
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01 - SEN	713.0	432.0	88.0	2.3	1.7	3.7
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01 - SEN	945.0	572.0	116.0	2.3	1.7	3.7
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01 - SEN	1249.0	633.0	111.0	3.0	1.0	2.0
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01 - SEN	1224.0	618.0	109.0	3.0	1.0	3.0
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01	976.0	591.0	120.0	2.3	1.7	3.7
E.N. 206 VARIANTE CENTRO- TROCO 01	423.0	256.0	52.0	2.3	1.7	3.7
A11 - CELEIROS GUIMARAES	1150.0	490.0	49.0	3.0	2.0	3.0
A11 - CELEIROS GUIMARAES	1361.0	577.0	55.0	3.0	1.0	3.0
A11 - CELEIROS GUIMARAES - PONTE	746.0	366.0	74.0	3.0	2.0	3.0
A7 -LANCO AVE GUIMARAES OESTE	1188.0	584.0	121.0	3.0	2.0	3.0
A7 - LANCO AVE GUIMARAES OESTE	1831.0	782.0	80.0	3.0	2.0	3.0
A7 - LANCO AVE GUIMARAES OESTE - PONTE	522.0	316.0	64.0	4.0	1.0	4.0
A7 - LANCO AVE GUIMARAES OESTE - PONTE	1074.0	650.0	132.0	4.0	1.0	4.0

Abaixo são apresentam-se imagens (Figura 31, Figura 32. Figura 33 e Figura 34) da rotunda antes da intervenção, recorrendo à ferramenta Google Maps/Street View para o efeito, tal como fotografias da rotunda no seu estado atual (Figura 35, Figura 36, Figura 37 e Figura 38).



Figura 31 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída norte (Fonte: Google Maps)



Figura 32 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída sul (Fonte: Google Maps)



Figura 33 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída este (Fonte: Google Maps)



Figura 34 - Rotunda antes da intervenção vista através da entrada/saída oeste (Fonte: Google Maps)



Figura 35 - Vista panorâmica da rotunda de Silvares após a intervenção



Figura 36 - Fotografia da rotunda de Silvares a ver-se para a passagem desnivelada



Figura 37 - Vista da passagem desnivelada em direção a Este (Fonte: Google Maps)



Figura 38 - Vista da passagem desnivelada em direção a Oeste (Fonte: Google Maps)

4.2 Mapa de Ruído do Local Antes da Intervenção

Os mapas de ruído representados na Figura 39 e Figura 40 foram desenvolvidos em ambiente CadnaA, tendo sido utilizada os dados da contagem de tráfego referida na Tabela 1 e Tabela 2.

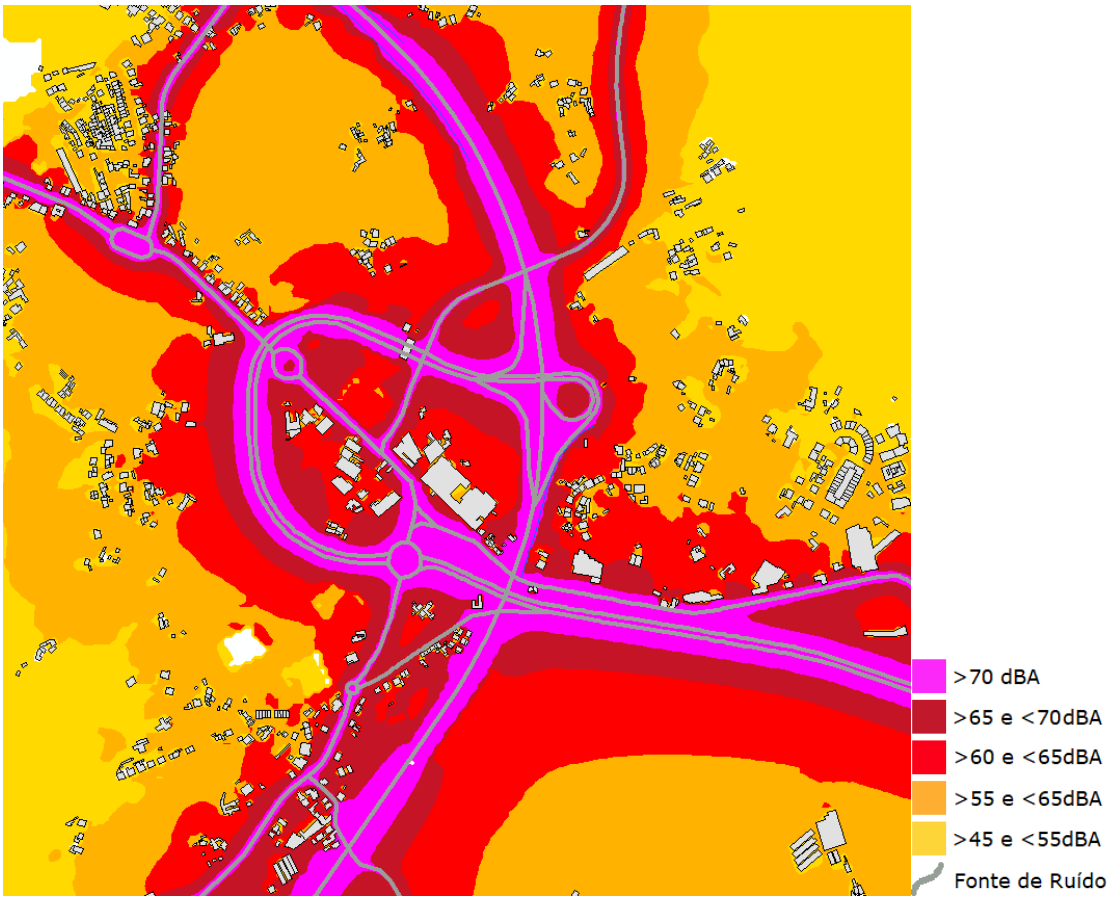


Figura 39 - Mapa de ruído, Lden, na Rotunda de Silvares antes da intervenção

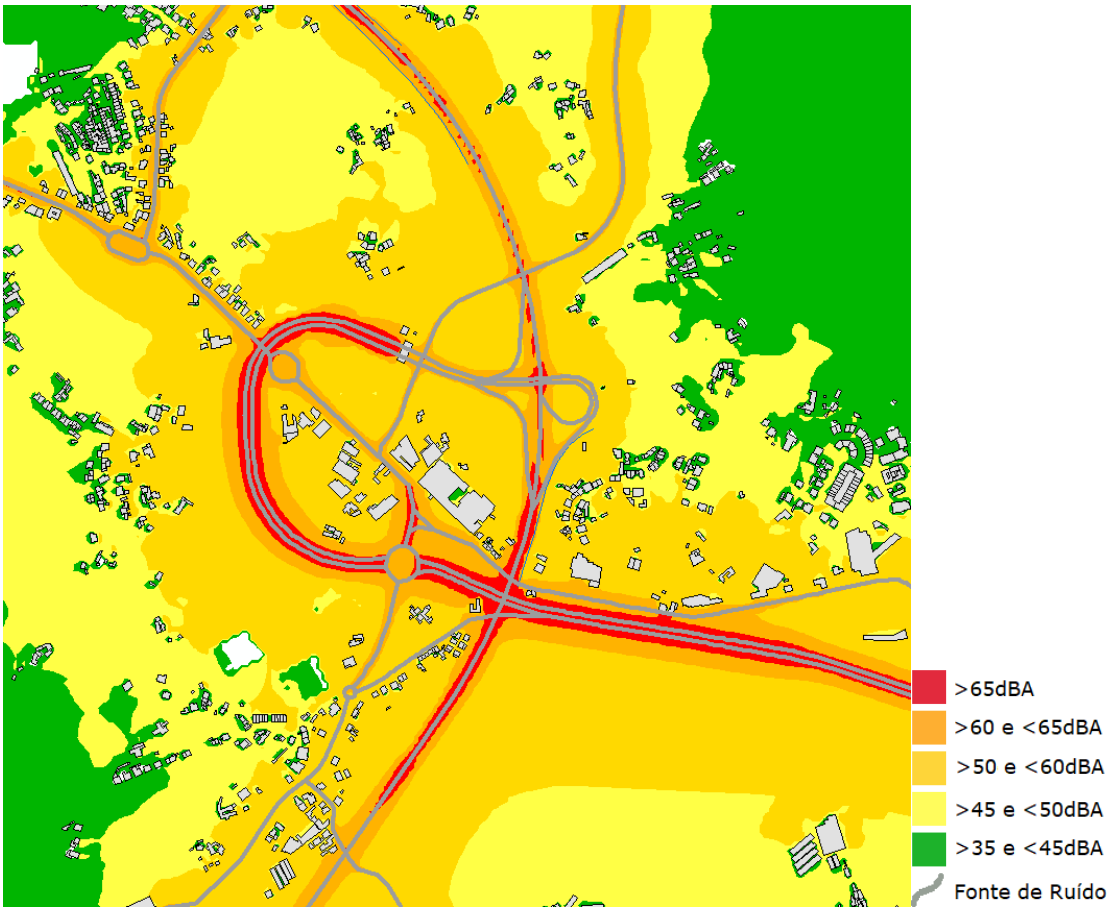


Figura 40 - Mapa de ruído, Ln, na Rotunda de Silvares antes da intervenção

4.3 Mapa de Ruído do Local Após Intervenção

Os mapas de ruído representados na Figura 41 e Figura 42 foram desenvolvidos em ambiente CadnaA, tendo sido utilizada os dados da contagem de tráfego referida nas Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6.

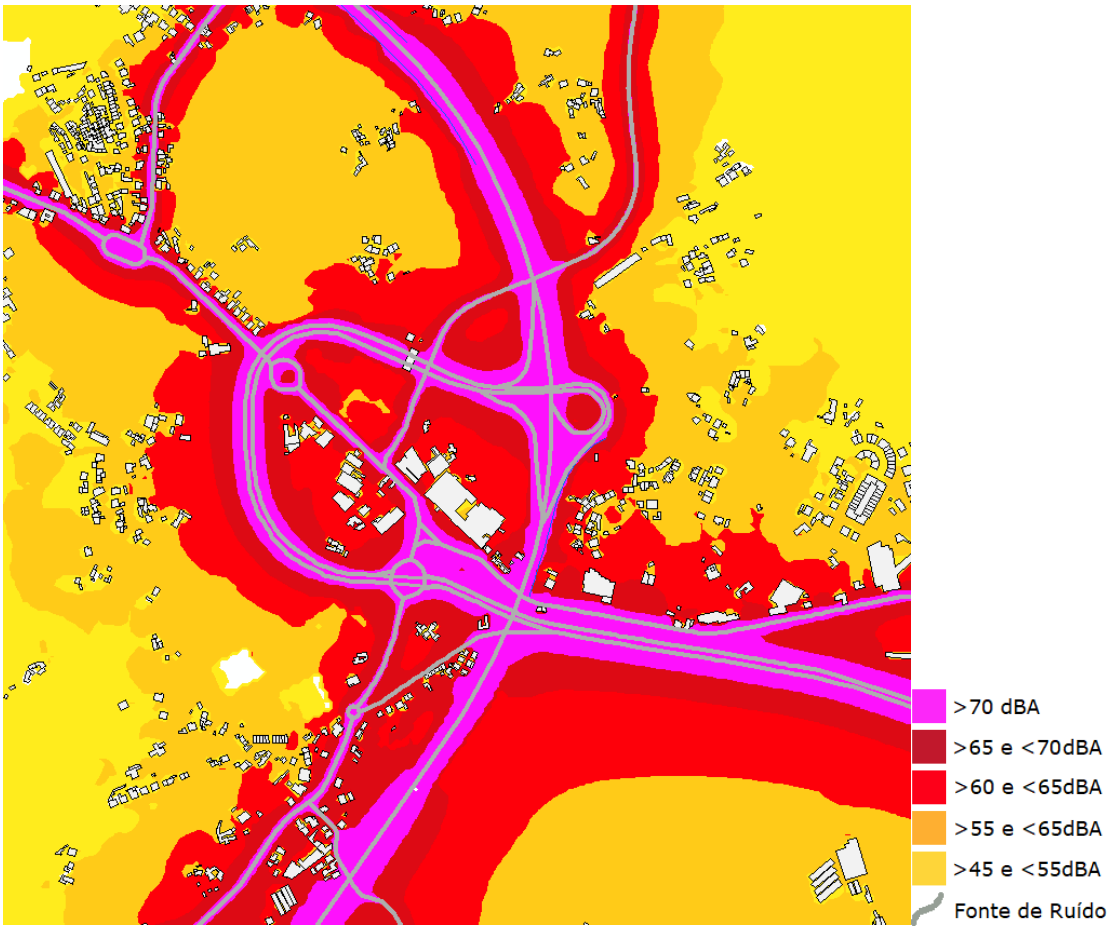


Figura 41 - Mapa de ruído Lden na rotunda de Silvares após a intervenção

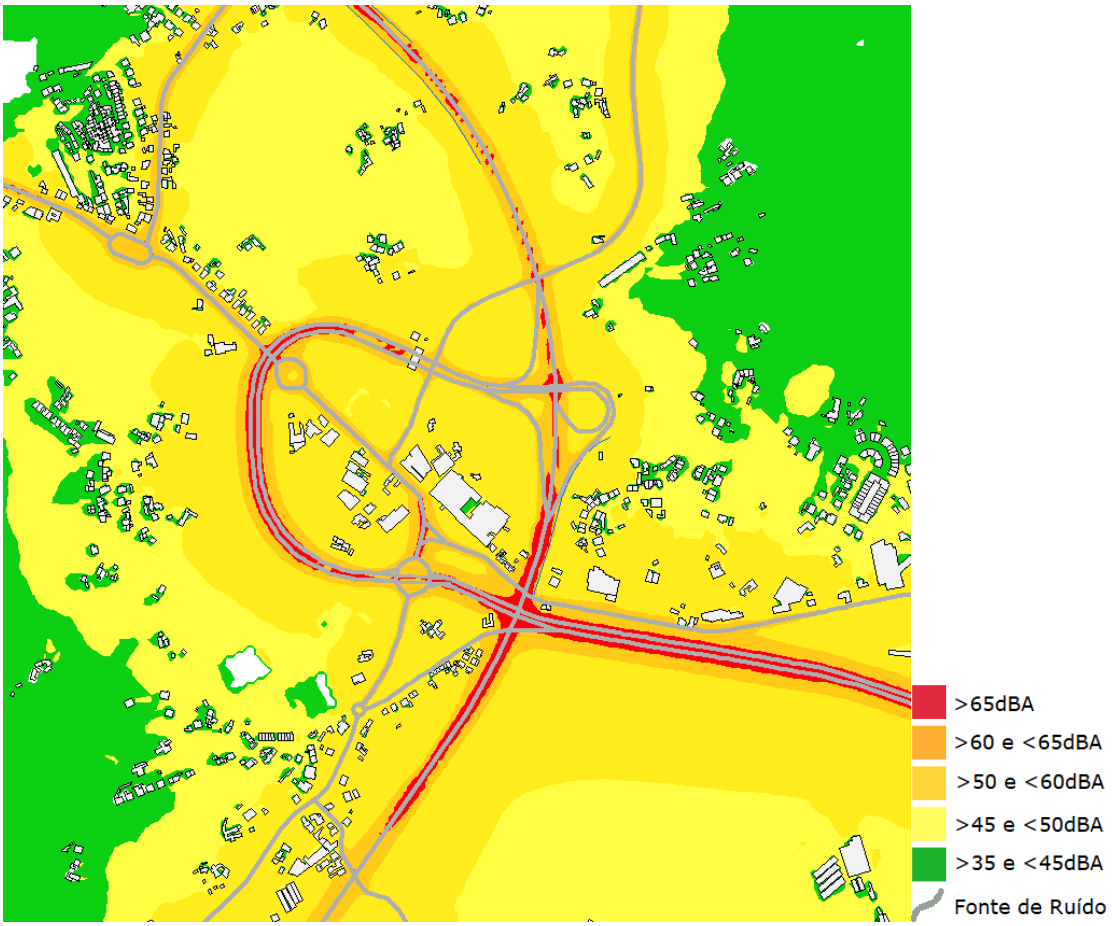


Figura 42 – Mapa de ruído Ln na rotunda de Silvares após a intervenção

4.4 Validação do modelo

De forma a conferir robustez ao mapa de ruído, é essencial proceder à validação dos valores modelados. Este procedimento consiste na comparação dos valores obtidos na modelação com valores de medições efetuadas em locais selecionados.

Para o efeito foi utilizado um sonómetro (SC310), como se pode ver nas Figura 44 e Figura 45.

A metodologia adotada permitiu a validação da qualidade dos dados de entrada e do modelo desenvolvido.

A seleção dos locais para validação deverá seguir os seguintes critérios:

- Influência predominante de um só tipo de fonte;

- Zonas de conflito (locais com níveis de ruído acima dos regulamentares);

- Locais com proximidade de zonas sensíveis;

- Zonas cujos resultados obtidos pelo modelo suscitassem dúvidas.

Nas Figuras 43 - 45, ilustram-se os dois pontos selecionados onde se realizaram medições para validação do mapa de ruído.



Figura 43 - Posição dos pontos em vista em planta

Para o ponto 1 (Figura 44) foi feito uma medição de 15 minutos que começou às 10h30min e terminou às 10h45min, neste período o nível de ruído medido L_{eq} foi de 74.1 dBA.



Figura 44 -Foto do equipamento colocado no ponto 1 de medição

No ponto 2 (Figura 45) também foi feita uma medição de 15 min, mas esta começou às 11h00min e terminou às 11h15min. O valor do nível de ruído obtido, L_{eq} foi de 71.5 dBA.

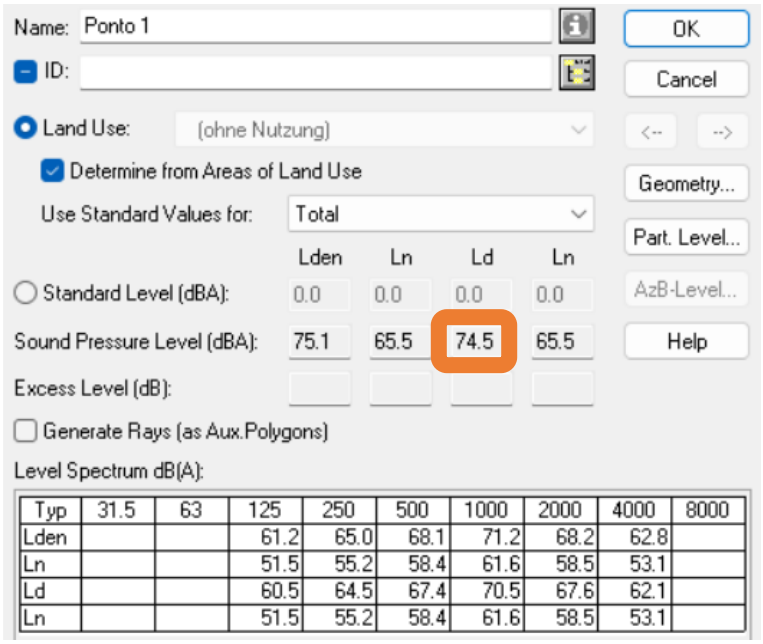


Figura 45 - Foto do equipamento colocado no ponto 2 de medição

Com os valores medidos em campo é possível comparar com os valores modelados e obtidos no CadnaA, mas para o efeito um novo cálculo foi executado, pois apenas se pretende modelar o nível de ruído no intervalo correspondente ao mesmo intervalo das medições de ruído feitas in situ, bem como para pontos de medição, recorrendo para o

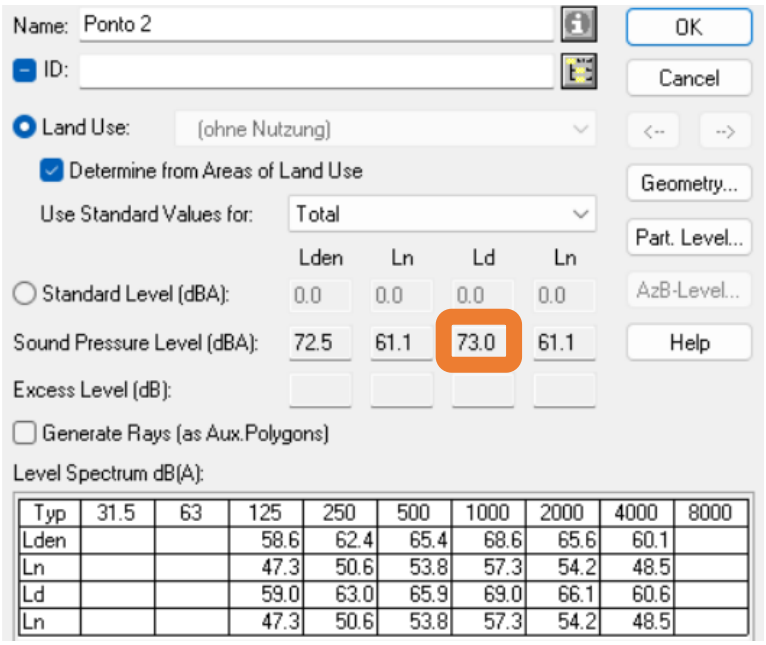
efeito à introdução de pontos recetores localizados nos pontos de medição. Assim, no programa de calculo introduziu-se o fluxo de tráfego contabilizado durante o período de medição.

Com o cálculo executado foram obtidos os seguintes valores para o ponto de recetor 1 (Figura 46) e para o ponto recetor 2 (Figura 47) respetivamente:



Typ	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lden			61.2	65.0	68.1	71.2	68.2	62.8	
Ln			51.5	55.2	58.4	61.6	58.5	53.1	
Ld			60.5	64.5	67.4	70.5	67.6	62.1	
Ln			51.5	55.2	58.4	61.6	58.5	53.1	

Figura 46 - Valores obtidos na CadnaA para o Ponto 1



Typ	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Lden			58.6	62.4	65.4	68.6	65.6	60.1	
Ln			47.3	50.6	53.8	57.3	54.2	48.5	
Ld			59.0	63.0	65.9	69.0	66.1	60.6	
Ln			47.3	50.6	53.8	57.3	54.2	48.5	

Figura 47 - Valores obtidos na CadnaA para o Ponto 2

Comparado os valores medidos em campo, com o sonómetro, com os valores calculados pelo CandaA, para o ponto 1 temos 74.1 dBA medidos em campo e 74.5 dBA pelo programa de calculo, no ponto 2 foram medidos 71.5 dBA e calculados 73.0 dBA.

Tabela 7 - Ruido de modelação e medido e o respetivo desvio

	Nível de Ruído Leq(dBA)		
	Modelo	Medição	Desvio
Ponto 1	74,5	74,1	0,4
Ponto 2	73,0	71,5	1,5

O cálculo é considerado válido quando a diferença entre os valores calculados (resultado da simulação do modelo desenvolvido) e os valores medidos não ultrapassa ± 2dB(A).

Após análise dos desvios obtidos, no que diz respeito à validação, verifica-se que os níveis sonoros simulados do ruído ambiente se apresentam, em geral, muito próximos dos valores medidos *in situ*, com um desvio inferior a 2 dB(A). Os resultados atestam que o modelo está validado.

4.5 Avaliação do Impacto da Intervenção

Como se pode observar nas Figura 39 e Figura 40, comparativamente com as Figura 41 e Figura 42, com a implementação da passagem desnivelada, o nível de ruído criado pelos veículos que circulam na rotunda, não apresenta grande alteração. A passagem desnivelada diminui o ruído devido à geometria existente, diminuição resultante também do desvio do tráfego que anteriormente circulava pela rotunda. No entanto, esta diminuição é compensada pelo elevado volume de tráfego que passa atualmente nesta rotunda e devido ao aumento observado ao longo dos anos, resultando, em termos de nível de ruído atualmente existente na rotunda, numa situação acústica muito parecida com a situação antes da intervenção.

Este foi o resultado esperado desde início pois objetivo desta intervenção nesta rotunda foi principalmente aumentar a capacidade da rotunda evitando situações de congestionamento e indiretamente a redução do ruído.

4.6 Avaliação do território exposto

Sendo uma zona, na sua maior parte, classificada acusticamente como industrial e mista, como se pode verificar na Figura 48, a existência de habitações é escassa, mas não inexistente. Pode-se observar na mesma figura uma habitação a menos de 100 metros do centro da rotunda.

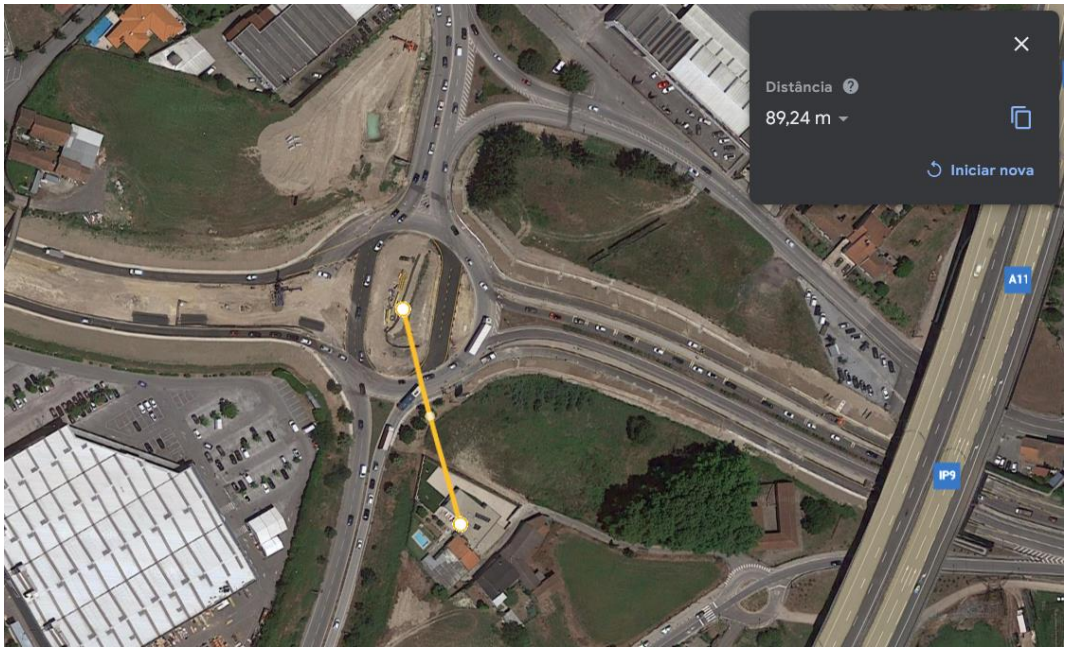


Figura 48 - Imagem aérea da rotunda com a distância do centro da rotunda até à habitação mais perto

Assim, a avaliação da população exposta será feita apenas para esta habitação por ser o único recetor sensível afetado/exposto pelo ruído produzido pelos veículos que circulam na rotunda.

A avaliação da exposição da habitação referida a níveis de ruído acima dos permitidos por lei, foi feita através de uma interseção do mapa de ruído obtido na Figura 41 e Figura

42, com o mapa de zonamento acústico ilustrado na Figura 25. Fazendo esta interseção obtiveram-se os mapas de conflito acústico apresentados abaixo (Figura 49 e Figura 50). Esta interseção recorreu a um Sistema de Informação Geográfico.



Figura 49 - Mapa de conflito acústico Lden da habitação perto da rotunda



Figura 50 - Mapa de conflito acústico Ln da habitação perto da rotunda

Analisando os resultados obtidos nos mapas de conflito acústico, foi possível determinar o nível de exposição ao ruído a que esta habitação está exposta, mas também identificar a origem do ruído. Assim a fachada noroeste da residência está exposta a um conflito acústico compreendido entre 0dBA e 5dBA, estando no que diz respeito ao indicador Lden como o indicador de noite Ln, a fonte principal de ruído provoca esta exposição nesta fachada é proveniente do tráfego que circula na rotunda. Pode-se também notar que a zona este da habitação está, também, exposta a conflito acústico, mas neste caso a fonte de ruído é predominantemente devido ao tráfego que circula na autoestrada A11.

Este nível de exposição acústica é considerado muito baixo, mas para pessoas com sensibilidade elevada ao ruído ou com problemas de saúde, durante a noite, este ruído pode ser incomodativo. Uma simples solução seria introduzir uma cortina verde arbustiva ao longo do perímetro do terreno da casa, esta implementação poderia reduzir ligeiramente a exposição para níveis consideráveis legais e confortáveis para os habitantes desta residência e, concomitantemente reduzir a sensibilidade ao ruído

Para calcular a área afetada pelo ruído, recorreu-se um sistema de informação geográfica, ArcGIS, com esta ferramenta foi possível extrair a área, em metros quadrados, expostos a cada intervalo de ruído. Para obter valores mais representativos das alterações na rotunda apenas se considerou a área apresentada na Figura 51.



Figura 51 – Representação ilustrativa da área de cálculo da exposição ao ruído

Com estes dados foi possível analisar a percentagem da área afetada como se pode ver nas Tabela 8 e Tabela 9 ilustradas seguidamente.

Tabela 8 - Área exposta ao ruído antes da intervenção Lden e Ln

Antes da Intervenção Lden				**Antes da Intervenção Ln**		
Intervalo de Ruído	Área (m^2)	% exposta		**Intervalo de Ruído**	Área (m^2)	% exposta
45-55	4549	3,62%		**35-45**	4589	3,65%
55-60	9919	7,88%		**45-50**	7090	5,63%
60-65	29689	23,60%		**50-55**	23807	18,92%
65+	81667	64,91%		**55+**	90337	71,80%
Total	125824			**Total**	125824	

Tabela 9 - Área exposta ao ruído após a intervenção Lden e Ln

Após Intervenção Lden			Após Intervenção Ln		
Intervalo de Ruído	Área (m^2)	% exposta	**Intervalo de Ruído**	Área (m^2)	% exposta
45-55	4934	3,92%	**35-45**	5789	4,60%
55-60	13500	10,73%	**45-50**	12262	9,75%
60-65	31982	25,42%	**50-55**	31596	25,11%
65+	75408	59,93%	**55+**	76176	60,54%
Total	125824		**Total**	125824	

Assim, com estes dados pode-se verificar que, no caso de Lden, a área exposta a classes mais baixas de ruído, na gama dos 45dBA aos 60 dBA, aumentou. Por outro lado, no caso da exposição a níveis de ruído mais elevados, dos 60dBA e mais, a área de exposição diminui. O mesmo acontece para o período de noite, Ln, em que a área afetada pelo ruído para gamas menores que 50 dBA diminui, e consequentemente para níveis mais elevados a área exposta diminui.

Este fenómeno ocorre pelo facto de que com a diminuição dos níveis de ruído, em geral, a área exposta a classes de ruído mais baixas vai aumentar e por consequência diminuir a área exposta a níveis de ruído mais elevados.

4.6.1 Avaliação comparativa da população exposta para momentos antes e após a intervenção com tráfego atual

Por fim foi feita a avaliação do ruído para a situação antes da construção da passagem desnivelada, mas com os valores de contagem de tráfego para a situação atual. Novamente utilizando o programa de calculo automático, CadnaA, foram desenvolvidos dois mapas de ruído, L_{den} e L_n, para a situação em questão, posteriormente foi calculada a área afetada pelo ruído proveniente desta situação hipotética.

Abaixo ilustram-se os mapas de ruído obtidos (Figura 52 e Figura 53), tal como os valores da área afetada pelo ruído e a percentagem de território exposta a cada classe de ruído (Tabela 10 e Tabela 11).

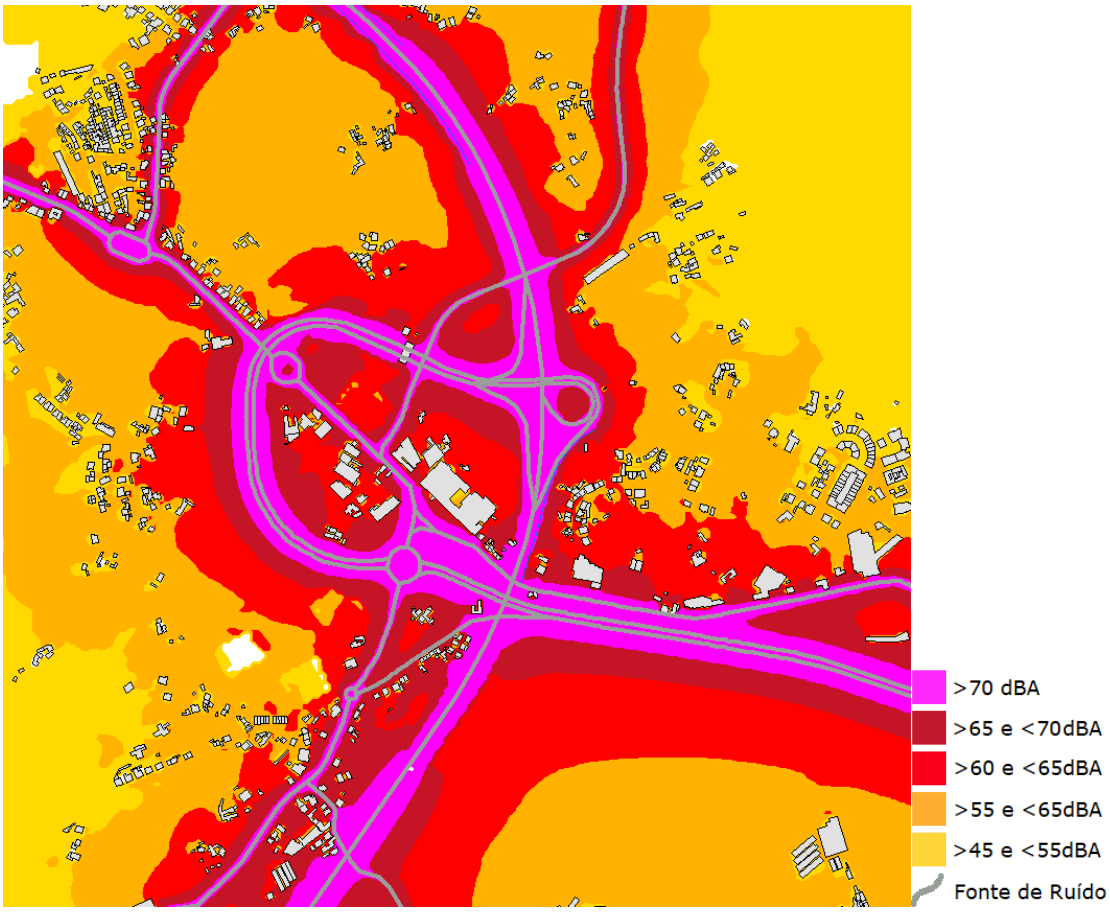


Figura 52 - Mapa de ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Lden

Tabela 10 - Área exposta ao ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Lden

Antes da Intervenção Lden Tráfego Atual		
Intervalo de Ruído	Área (m^2)	% exposta
55-	4359	3,46%
55-60	10126	8,05%
60-65	27518	21,87%
65+	83820	66,62%
Total	125824	

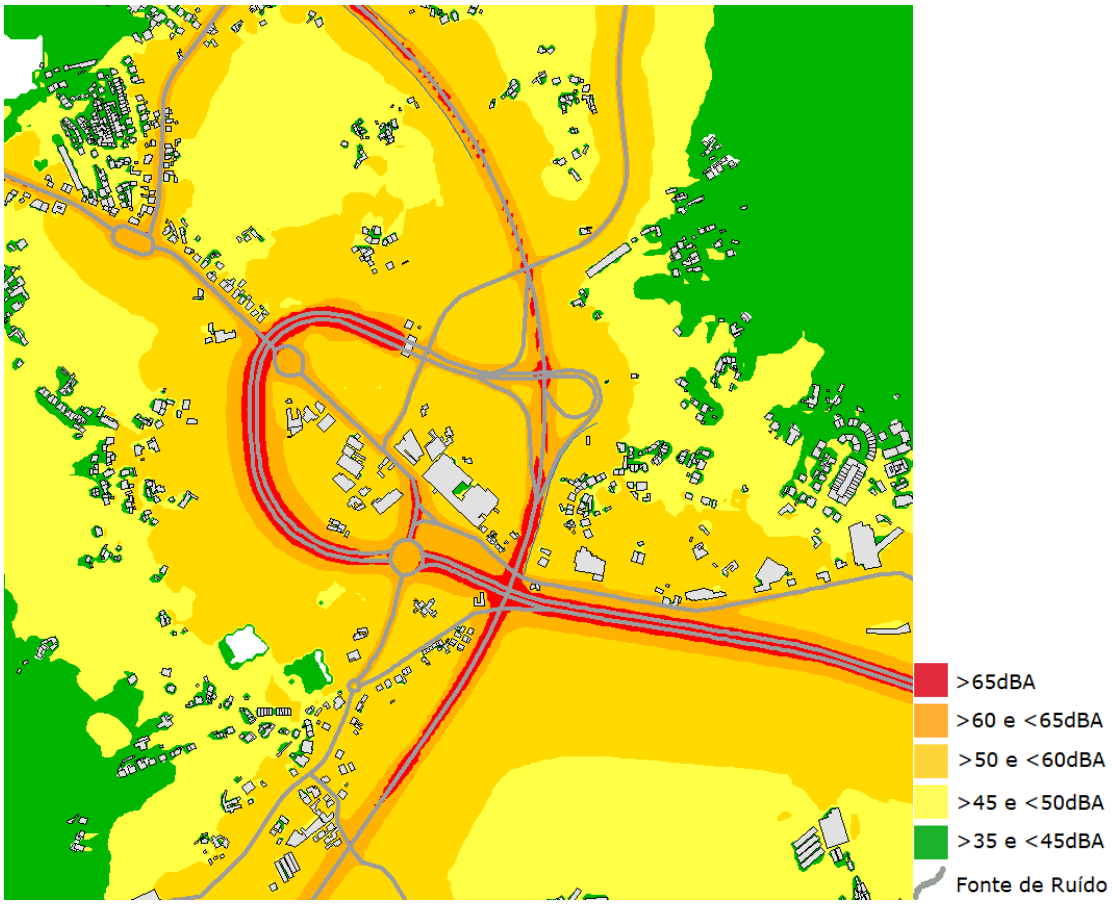


Figura 53 - Mapa de ruído antes da intervenção com o tráfego atual Ln

Tabela 11 - Área exposta ao ruído antes da intervenção com o tráfego atual, Ln

Antes da Intervenção Ln Tráfego Atual		
Intervalo de Ruído	Área (m^2)	% utilizada
45-	4893	3,89%
45-50	7739	6,15%
50-55	25733	20,45%
55+	87460	69,51%
Total	125824	

Por fim foi feito o cálculo da diferença entre o cenário após a intervenção e antes a intervenção (Tabela 12), o cenário antes a intervenção com o tráfego em 2022 e em 2019 (Tabela 13) e o cenário após intervenção e antes a intervenção com o tráfego de 2022 (Tabela 14).

Tabela 12 - Comparação Após Intervenção com Antes da Intervenção

Após Intervenção comparando com Antes da Intervenção						
Intervalo de Ruído	Área (m^2) Lden	% exposta		**Intervalo de Ruído**	Área (m^2) Ln	% exposta
55-	384	0,31%		**45-**	1200	0,95%
55-60	3581	2,85%		**45-50**	5172	4,11%
60-65	2294	1,82%		**50-55**	7789	6,19%
65+	-6259	-4,97%		**55+**	-14162	-11,26%
Total	0			**Total**	0	

Tabela 13 - Comparação Antes Intervenção Tráfego atual com Antes da Intervenção

Antes Intervenção Tráfego atual comparando com Antes da Intervenção						
Intervalo de Ruído	Área (m^2) Lden	% exposta		**Intervalo de Ruído**	Área (m^2) Ln	% exposta
55-	-190	-0,15%		**45-**	303	0,24%
55-60	207	0,16%		**45-50**	649	0,52%
60-65	-2170	-1,72%		**50-55**	1925	1,53%
65+	2153	1,71%		**55+**	-2878	-2,29%
Total	0			**Total**	0	

Tabela 14 – Comparação Após Intervenção com Antes da Intervenção tráfego atual

Após Intervenção comparando com Antes da Intervenção tráfego atual						
Intervalo de Ruído	Área (m^2) Lden	% exposta		**Intervalo de Ruído**	Área (m^2) Ln	% exposta
55-	574	0,46%		**45-**	897	0,71%
55-60	3374	2,68%		**45-50**	4523	3,59%
60-65	4464	3,55%		**50-55**	5864	4,66%
65+	-8412	-6,69%		**55+**	-11284	-8,97%
Total	0			**Total**	0	

Fazendo a análise comparativa deste estudo pode-se verificar que a percentagem de área exposta ao ruído provocado pela rotunda diminui em classes de ruído mais elevado o que faz com que as áreas expostas a níveis de ruído mais baixo aumentem em dimensão o que quer dizer que a implementação da passagem desnivelada provocou a diminuição do ruído como era esperado. No caso do cenário hipotético (Tabela 13) o nível de ruído de noite é mais baixo em 2022, pois, o tráfego de noite em 2022 diminui em comparação ao ano de 2019, o que não acontece no mesmo cenário, mas de dia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar a redução do ruído devido à introdução de uma passagem desnivelada numa das entradas principais à cidade de Guimarães. Foi desenvolvido um modelo tridimensional da via/rotunda e suas imediações e caraterizadas as fontes de ruído através de contagens de tráfego. Com recurso a um modelo de previsão de ruído, foram desenvolvidos três cenários que retratavam várias condições de funcionamento da via/rotunda em estudo. O Cenário 1: antes da intervenção, utilizando os dados de tráfego de 2019; Cenário 2: antes da intervenção, utilizando os dados de tráfego atuais, de 2022; e Cenário 3: após a intervenção, utilizando os dados de tráfego de 2022. Através do modelo de previsão de ruído NMPB96 em ambiente CadnaA, foram desenvolvidos mapas de ruído dos indicadores Lden e Ln para os três cenários. Os seis mapas foram exportados em formato shp, e em ambiente ArcGIS, foram calculadas as áreas de território expostas às várias classes de ruído. Os valores foram comparados e concluiu-se que com introdução da passagem desnivelada o congestionamento do tráfego no local diminuiu visivelmente, no entanto a redução do ruído obtida não foi muito significativa.

O objetivo principal desta dissertação foi atingido, dado que foi feita a avaliação comparativa dos níveis de ruído na rotunda de Silvares antes e depois da construção da passagem desnivelada. Este objetivo foi cumprido, uma vez que foram realizadas contagens de tráfego, que posteriormente foram utilizadas num programa de cálculo automático para obter os mapas horizontais de ruído na zona da rotunda.

Durante a realização deste trabalho de investigação foi possível obter relações entre diferentes métodos de avaliação de ruído urbano.

Com a realização dos mapas de ruído foi possível comparar as duas situações da rotunda e assim determinar que a intervenção na rotunda teve um impacto pouco significativo nos níveis de ruído. No entanto as principais reduções observaram-se nas classes de ruído mais elevadas, (+ de 65 dBA). Por consequência, e como seria de esperar, a área exposta às classes de ruído mais baixas sofreu um aumento. Como se pode observar na Tabela 12, com a construção da via desnivelada, a área de território exposta à classe (65 + dBA) para

o indicador Lden e à classe (55+ dBA) para o indicador Ln reduziu 4.97% e 11.26% respetivamente.

Observando a Tabela 14 verifica-se que esta variação no mapa de ruído antes e após a implementação da passagem desnivelada era previsível, dado que nos últimos anos o número de veículos que passa pela rotunda aumentou, o que faria com que o ruído aumentasse também. No entanto, a criação da passagem desnivelada fez com que o ruído provocado pelo tráfego que passa por ela seja reduzido em comparação com o ruído produzido pelos veículos que passam na parte superior da rotunda.

5.2 Propostas de alteração para trabalhos futuros

Depois de realizado esta trabalho existem algumas questões que poderiam ser melhoradas ou tidas em conta num futuro estudo:

- Mesmo tendo em conta que o estudo estava focado exclusivamente na rotunda de Silvares, seria oportuno incluir a contagem de tráfego das vias adjacentes, por forma a avaliar possíveis alterações decorrentes da introdução da passagem desnivelada;
- A introdução da passagem desnivelada trouxe grandes benefícios no que diz respeito aos problemas de congestionamento de tráfego na zona da rotunda de Silvares, verificando-se que as longas filas formadas na entrada da rotunda em hora de pico deixaram de existir. Contudo este problema foi parcialmente transferido para a entrada na Alamedo Doutor Mariano Felgueira (rotunda do Guimarães Shopping), observando-se em hora de pico, a formação de longas filas. A proposta de estudos futuros seria alargar o estudo a este local, tendo em vista quantificar o impacto criado nesta zona.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Matthews, K. (2018). Why We Need to Reduce Noise Levels in Cities. *Planetizen*. Obtido de https://www.planetizen.com/blogs/96881-why-we-need-reduce-noise-levels-cities

Oliveira, J. P. (2017). *Avaliação de diferentes métodos de ensaio para determinação da capacidade de carga da fundação de pavimentos rodoviários.* Universidade do Minho, Guimarães. Obtido de https://hdl.handle.net/1822/67244

Silva, Â. C., Silva, L. T., & Souza, L. C. (2010). Avaliação do ruído num bairro residencial em Bauru : SP : situação de pico de tráfego. Obtido de https://hdl.handle.net/1822/17699

Silva, L. M. (2008). *Avaliação da qualidade ambiental urbana.* Tese de Doutoramento. Obtido de https://hdl.handle.net/1822/7515

Silva, L. M. (2010). Avaliação do ruído e poluição atmosférica resultante do tráfego em Viana do Castelo. Viana do Castelo: Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de https://hdl.handle.net/1822/17700

Silva, L. T., Rodrigues, D. S., Ramos, R. A., & Mendes, J. F. (2004). Avaliação de zonas de criticidade acústica: aplicação das potencialidades de um SIG na avaliação do ruído de uma cidade de média dimensão. Obtido de https://hdl.handle.net/1822/1341

Vianna, K. M. (2014). *Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população.* Faculdade de Saúde Pública, São Paulo. doi:10.11606/T.6.2014.tde-01122014-100623

AFNOR. (1991). *Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit du trafic routier*. *Saint-*
Denis La Plaine, France.

Regulamento Geral do Ruído (RGR) (2007)

https://data.dre.pt/eli/dec-lei/9/2007/p/cons/20070801/pt/html