



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

ESTG

RUÍDO AMBIENTAL – INSTRUMENTOS DE PLANEAMENTO
EM PORTUGAL E NO BRASIL

Adriano Loureiro Corrêa

2025



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

RUÍDO AMBIENTAL – INSTRUMENTOS DE
PLANEAMENTO EM PORTUGAL E NO BRASIL

Adriano Loureiro Corrêa

Escola Superior de Tecnologia e Gestão



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Adriano Loureiro Corrêa

Ruído Ambiental – Instrumentos de Planeamento em Portugal e no Brasil

Nome do Curso de Mestrado
Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Ferreira da Silva
e
Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira

Abril de 2025

MEMBROS DO JÚRI

Presidente:

Professor Doutor Domingos Garcia Ribas

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Vogal:

Professora Doutora Maria do Rosário Santos Oliveira

Professora Adjunta do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Vogal:

Professor Doutor José Ferreira da Silva

Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

Orientador

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a Deus, por me proporcionar esta valiosa oportunidade e por todas as bênçãos que iluminam minha trajetória.

Gostaria de agradecer ao professor José Ferreira da Silva por toda ajuda e paciência na orientação e elaboração deste trabalho.

Agradeço a Ingrid, que tem sido um pilar de apoio incondicional em minha vida. Seu amor, paciência e generosidade, especialmente durante os finais de semana que dedicamos ao trabalho em conjunto, foram essenciais para alcançarmos nossos objetivos. Sua presença torna cada dia mais leve, e sou eternamente grato por tê-la ao meu lado.

Sou também profundamente grato à minha família, que, mesmo distante, sempre fez questão de se manter presente. O amor, a preocupação e os conselhos que recebi de vocês foram fundamentais para tomar minhas decisões e no fortalecimento da minha determinação. Saber que sempre posso contar com o apoio de vocês me dá a segurança e a coragem necessárias para seguir em frente.

Agradeço ainda a todos os amigos e colegas que contribuíram de alguma forma para esta jornada.

RESUMO

A poluição sonora é uma das principais causas de problemas de saúde, e o aumento do tráfego urbano e das atividades industriais contribui significativamente para essa situação, tornando urgente a definição de estratégias eficazes de gerenciamento do ruído.

No âmbito do planeamento urbano, diversos instrumentos foram desenvolvidos, como mapas de ruído, cartas de zonamento e mapas de conflito, que ajudam a identificar áreas que necessitam de intervenções para reduzir o ruído ou para garantir que determinadas zonas não ultrapassem os limites de ruído permitidos.

Este trabalho visa comparar os instrumentos de planeamento, normas e métodos de controle utilizados em Portugal e no Brasil. Para isso, foi adotada uma metodologia de pesquisa bibliográfica, que abrange dissertações publicadas, artigos científicos e informação consultada em entidades oficiais.

Observou-se que Portugal está mais avançado na criação e aplicação desses instrumentos, em grande parte devido às diretrizes da União Europeia. Em contrapartida, no Brasil, a ausência de uma legislação federal padronizada para a elaboração de mapas de ruído e de zonamento acústico deixa estas questões a cargo de iniciativas municipais. Algumas cidades, como São Paulo e Rio de Janeiro, têm-se destacado ao implementar leis municipais que reconhecem a importância da gestão do ruído. Essas iniciativas são essenciais, mas ainda carecem de um quadro nacional coeso que possibilite uma abordagem uniforme e abrangente.

PALAVRAS CHAVE: Planeamento urbano; ruído ambiental; mapa de ruído; zonamento acústico; mapa de conflito acústico.

ABSTRACT

Noise pollution is one of the main causes of health problems, and the increase in urban traffic and industrial activities significantly contribute to this situation, making the need for effective noise management strategies urgent.

In urban planning, several tools have been developed, such as noise maps, zoning charts, and conflict maps, which help identify areas that require interventions to reduce noise or ensure that certain areas do not exceed the permitted noise limits.

This paper aims to compare the planning tools, standards, and control methods used in Portugal and Brazil. To achieve this, a bibliographic research methodology was adopted, encompassing published dissertations, scientific articles, and information consulted from official websites.

It was observed that Portugal is more advanced in the creation and application of these tools, largely due to the guidelines of the European Union. In contrast, in Brazil, the lack of a standardized federal legislation for the creation of noise maps leaves the cities responsible for municipal initiatives. Some cities, such as São Paulo and Rio de Janeiro, have stood out by implementing municipal laws that recognize the importance of noise management. These initiatives are essential but still lack a cohesive national framework that enables a uniform and comprehensive approach.

KEYWORDS: Urban planning; environmental noise; noise map; acoustic zoning; acoustic conflict map.

LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

CERTU - Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito

CNOSSOS – Common Noise Assessment Methods in Europe

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

EEA - European Environmental Agency

K1 - Constante correspondente a correção tonal

K2 - Constante correspondente a correção impulsiva

L1 - Nível de pressão sonora excedido em 1% do tempo de medição

L5 - Nível de pressão sonora excedido em 5% do tempo de medição

L10 - Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medição

L95 - Nível de pressão sonora excedido em 95% do tempo de medição

LAeq - Nível de ruído equivalente

LAr - Nível de avaliação de ruído corrigidas características tonais e impulsivas

LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Lden – Nível de pressão sonora dia, entardecer e noite

Ld – Nível de pressão sonora dia

Ldn – Nível de pressão sonora dia e noite

Leq - Nível de pressão sonora equivalente

Leqdia - Nível de pressão sonora equivalente dia

Leqden - Nível de pressão sonora equivalente dia, entardecer e noite

Leqentardecer - Nível de pressão sonora equivalente entardecer

Leqnoite - Nível de pressão sonora equivalente noite

Lmáx - Nível de ruído máximo medido

Lmin - Nível de ruído mínimo medido

Ln – Nível de pressão sonora noite

Lp – Nível de pressão sonora

NACTO - National Association of City Transportation Officials

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health

NBR - Norma Técnica Brasileira

OMS - Organização Mundial de Saúde

PET - Polietileno tereftalato

PDM - Plano Diretor Municipal

PMRR - Plano Municipal de Redução de Ruído

R_{LAeq} diurno - Limite do nível de pressão sonora diurno

R_{LAeq} noturno - Limite do nível de pressão sonora noturno

RGR - Regulamento Geral do Ruído

SETRA - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

ÍNDICE

1. Introdução.....	17
1.1. Enquadramento do tema.....	17
1.2. Impacto do ruído urbano na população.....	18
1.3. Objetivo do estudo.....	20
1.4. Descrição dos capítulo.....	20
2. Ruído Ambiental	22
2.1. Som e Ruído	22
2.2. Quantificação do Ruído.....	23
2.3. Indicadores de ruído ambiental	27
2.3.1. Indicador Médio - Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq).....	27
2.3.2. Indicadores de picos - Máximo (L _{máx}) e Mínimo (L _{mín}).....	28
2.3.3. Indicadores estatísticos – L ₁ , L ₅ , L ₁₀ , L ₉₅	29
2.4. Equipamentos de medição de ruído ambiental	29
2.5. Métodos de previsão de ruído ambiental	31
2.6. Origem do ruído ambiental.....	32
2.7. Propagação do ruído ambiental	33
3. Medidas de Controle do Ruído Ambiental.....	35
3.1. Medidas de atuação na fonte	36
3.2. Medidas de atuação na propagação.....	42
3.3. Medidas de atuação no recetor	50
4. Enquadramento Legal do Ruído Ambiental	55
4.1. Enquadramento legal do ruído ambiental em Portugal	55
4.1.1. Critério de exposição máxima	57
4.1.2. Critério de incomodidade	57
4.2. Enquadramento legal do ruído ambiental no Brasil.....	59
5. Instrumentos de Planeamento no Âmbito do Ruído Ambiental.....	62
5.1. Instrumentos de Planeamento em Portugal.....	62
5.1.1. Mapa Municipal de Ruído	62
5.1.2. Mapa de Zonamento Acústico ou Mapa de Classificação de Zonas Acústicas	64
5.1.3. Mapa de Conflito Acústico	65
5.1.4. Plano Municipal de Redução de Ruído	67
5.2. Instrumentos de Planeamento no Brasil	67

5.2.1 Mapas de Ruído.....	68
5.2.2 Mapa de Sensibilidade.....	70
5.2.3 Mapa de Conflito	73
6. Considerações Finais	74
7. Referências Bibliográficas	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tempo máximo de exposição ao ruído de acordo com o nível de pressão sonora (National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2024).....	19
Figura 2: Representação da quantidade de decibéis (APA, 2024).	24
Figura 3: Gráfico das curvas de ponderação acústica (Skirrow, 2009)	25
Figura 4: Soma de pressão sonora de igual valor (APA, 2024)	26
Figura 5: Soma de ruídos de valores diferentes.	26
Figura 6: Equipamento Sonómetro com calibrador (PCE Instruments, 2025)	30
Figura 7: Equipamento Dosímetro.....	30
Figura 8: Ruído sonoro desde a fonte ao recetor. Bistafa, (2018, p. 316)	35
Figura 9: Representação de modelo de estreitamento de via	39
Figura 10: Representação de uma rotunda, (Seco et al., 2008).	40
Figura 11: Lombas com forma circular (National Association of City Transportation Officials [NACTO], 2013).....	41
Figura 12: Zona com limitação de velocidade na cidade de Braga. (Almeida, 2017)	41
Figura 13: Elementos atenuantes. Bistafa(2018).....	42
Figura 14: Área de influência de uma barreira acústica. Silva (2012 p.74)	43
Figura 15: Redução sonora de acordo com os diferentes tipos de vegetação, (Gerges, 1992, p. 234).	44
Figura 16: Exemplo de talude, Yanagira (2021, p. 83).	45
Figura 17: Exemplos de barreiras acústicas artificiais, Silva (2012).	45
Figura 18: Representação do modelo de um difrator sonoro.	46
Figura 19: Utilização de betão bois como barreira acústica	47
Figura 20: Difração sonora por alteração do alinhamento da via, Yanagira (2021, p. 85).	48
Figura 21: Barreira acústica em viaduto, (ISOLTOP, 2020).	48
Figura 22: Exemplo de túnel dentro da cidade.....	49
Figura 23:Perda da transmissão sonora de acordo com o afastamento dos painéis. Bistafa (2018, p. 287).....	51
Figura 24: Comportamento do ruído sonoro de acordo com a forma da edificação, Yanagira (2021, p. 95).	53
Figura 25: Exemplo do da redução de ruído sonoro devia a construção de uma varanda, Yanagira (2021, p. 95).	54
Figura 26: Exemplos de diferente tipos de protetores auriculares, Bistafa (2018, p. 356).....	55
Figura 27: Representação espacial dos intervalos de níveis sonoros através de polígonos, (Antunes et al., 2023).....	63
Figura 28: Mapa de ruído para o indicador L_n , cidade do Porto.	64
Figura 29: Mapa de ruído para o indicador L_{den} , cidade do Porto.	64
Figura 30: Carta de Zonamento Acústico da cidade do Porto	65
Figura 31: Mapa de conflito para o indicador L_n , cidade do Porto.	66
Figura 32: Mapa de conflito para o indicador L_{den} , cidade do Porto.	66
Figura 33: Mapas de ruído para os indicadores L_{noite} e L_{dia} para uma área da cidade de Fortaleza.....	69
Figura 34: Mapas de ruído para os indicadores L_{noite} e L_{dia} antes da construção do viaduto na cidade de Fortaleza	70
Figura 35: Mapas de ruído para os indicadores L_{noite} e L_{dia} depois da construção do viaduto na cidade de Fortaleza	70
Figura 36: Mapa de Sensibilidade da área central urbana da cidade de São Paulo.	72

Figura 37: Representação de mapa de conflito	73
--	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 : Valores recomendados pela OMS (2018) para a região da Europa (APA, 2024).	17
Tabela 2: Tabela de redução de ruído por redução de volume de tráfego, Yanagira (2021, p.50).	37
Tabela 3: Quadro da redução de ruído com a redução da velocidade, Yanagira (2021, p.51). ..	38
Tabela 4: Medidas de gestão de tráfego e atenuações. Elaborado pelo autor com base em (Carvalho & Rocha, 2008).	38
Tabela 5: Redução sonora a partir de medidas de atuação na propagação. Elaborado pelo autor com base em Silva (2012) e Yanagira (2021)	50
Tabela 6: Redução do ruído sono de acordo com escolha do tipo de vidro, Silva (2012, p. 83). 52	
Tabela 7: Valor adicional ao limite de incomodidade, (RGR, 2007).	59
Tabela 8: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período, (ABNT,2019).	61
Tabela 9: Quadro de mapas de ruído criados no Brasil entre 2002 e 2019, (Brasileiro et al., 2019).	68

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Com o crescimento das cidades, uma das consequências identificadas é o aumento considerável no nível de ruído ambiente, podendo ser observado diariamente a exposição das pessoas a diversos tipos de ruído, como os produzidos por aparelhos domésticos, maquinários das indústrias, edifícios de utilização comercial, mas principalmente, os gerados pelo tráfego dos meios de transporte como os carros, comboios, aviões, etc (Bistafa, 2018).

A qualidade de vida das pessoas é afetada pelo ruído, que tem sido agravado principalmente pelo aumento dos níveis de tráfego rodoviário e incremento da mecanização, a ser considerado como um dos fatores de desgaste devido ao ritmo de desenvolvimento das cidades (Silva, 2012).

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2024), dependendo da exposição ao ruído, ele pode ser considerado somente um incómodo até chegar a perda da audição, prejudicando atividades quotidianas das pessoas como a capacidade de concentração, os reflexos e o sono. Com a intenção de evitar as perturbações no sono e outros problemas relacionados ao ruído, em 1999 a OMS (Organização Mundial de Saúde) recomendou valores máximos de ruído ambiente, sendo esses valores atualizados em 2018, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 : Valores recomendados pela OMS (2018) para a região da Europa (APA, 2024).

Tipo de fonte	Lden [dB(A)]	Lnoite [dB(A)]	Observações
Tráfego ferroviário	≤ 54	≤ 45	ruído ambiente exterior
Tráfego rodoviário	≤ 53	≤ 44	ruído ambiente exterior
Tráfego aéreo	≤ 45	≤ 40	ruído ambiente exterior
Indiferenciado	-	≤ 30	ruído no interior dos quartos

Para controlar o ruído, deve-se identificar a fonte emissora, os caminhos de propagação e o ponto receptor, possuindo formas de controle em todas elas,

como fabricação de maquinários menos ruidosos, aplicação de barreiras acústicas e utilização de janelas de vidro duplo, respectivamente (Bistafa, 2018).

Segundo a APA (2021b) o controle do ruído deve ser implementado de forma preventiva por meio de um planeamento municipal. O território deve ser classificado em "zonas sensíveis" e "zonas mistas", levando em conta a utilização atual e futura do solo, a fim de garantir o cumprimento das normas, incluindo os limites de ruído ambiental estabelecidos. Dentre os instrumentos utilizados na gestão do ruído, destacam-se os mapas de ruído, que são elaborados a partir de medições de nível de pressão sonora. Outro instrumento utilizado são os Planos Municipais de Redução de Ruído (PMRR), fundamentais para resolver conflitos quando os níveis de ruído registados superam os limites permitidos para a zona, definindo ações específicas para a redução do ruído e assegurando a conformidade com a legislação.

1.2. Impacto do ruído urbano na população

A origem do ruído ambiental é diversa, podendo ser originada em obras de construção civil, estabelecimentos comerciais, indústrias, tráfego de veículos ou outras atividades, o que pode afetar a saúde da população residente nas suas proximidades (Nunes, 2006).

O ruído pode afetar a saúde das pessoas de diversas maneiras, de acordo com a sua exposição, intensidade e natureza. Os danos podem ser causados diretamente ao aparelho auditivo das pessoas como também podem provocar outros danos à saúde, que não auditivos. Inicialmente a população pode manifestar uma surdez temporária ou definitiva, essa última podendo ser total ou parcial (Silva, 2012).

Segundo a *European Environmental Agency (EEA, 2020)*, uma das principais causas de problemas de saúde na Europa está relacionada ao ruído ambiente produzido pelos meios de transporte, sendo o ruído gerado pelo tráfego considerado como uma ameaça à saúde pública.

Segundo Nunes, (2006) é possível que o ruído cause perda auditiva, momentânea ou permanente, irreversível ou não, a depender do tempo de exposição e sua intensidade. Mesmo sendo o incômodo causado pelo ruído de baixa frequência menor para o ouvido humano, pode levar a lesões irreversíveis, a depender da intensidade a que a pessoa está sendo exposta.

O ruído está diretamente associado a vários efeitos negativos na saúde já conhecidos como perturbação do sono, incômodo, problemas cardiovasculares e auditivos, *stress* entre vários outros. Existem ainda alguns estudos que sugerem a ligação entre a exposição exagerada ao ruído e algumas doenças, como alguns tipos de cancro de mama, intensificação de doenças respiratórias, ou problemas de saúde mental como depressão e ansiedade (European Environmental Agency [EEA], 2020).

Existe uma recomendação de tempo máximo diário ao qual se poderá estar exposto a um certo nível de ruído, para que não haja prejuízos permanentes na audição do ser humano. Conforme a figura 1, abaixo, podemos notar que a cada aumento de 3dB(A) do nível sonoro, deve-se reduzir na metade o tempo de exposição àquele ruído (Silva, 2012).

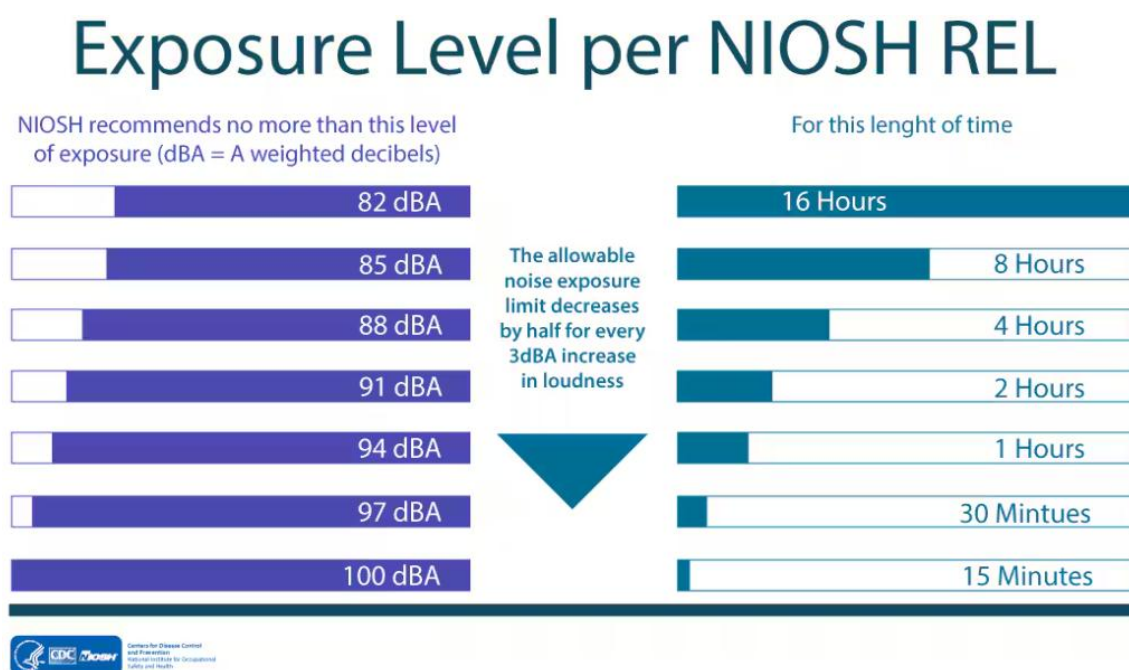


Figura 1: Tempo máximo de exposição ao ruído de acordo com o nível de pressão sonora (National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 2024).

Além da duração da exposição ao ruído, outros fatores como amplitude e frequência são estudados para poder caracterizar a incomodidade gerada pelo ruído, como é o caso das frequências agudas, que incomodam mais do que as frequências graves (Silva, 2012).

1.3. Objetivo do estudo

O presente estudo tem como objetivo analisar e comparar as normas, métodos de controlo e instrumentos de planeamento do ruído ambiental aplicados em Portugal e no Brasil e identificar boas práticas que possam ser adotadas para a melhoria da gestão do ruído urbano.

1.4. Descrição dos capítulos

Neste primeiro capítulo foi desenvolvido um enquadramento do tema a ser discutido e logo depois uma breve síntese sobre o impacto do ruído urbano na população.

O segundo capítulo inicia-se com a caracterização do ruído e como o quantificamos. Depois serão apresentados alguns indicadores utilizados para análise do ruído ambiental. Ainda neste capítulo, referem-se equipamentos de medição, métodos de previsão de ruído, as origens do ruído ambiental e suas formas de propagação.

No terceiro capítulo serão descritas as metodologias utilizadas no controlo do ruído ambiental, diferenciando-as por três níveis de actuação: na fonte, na propagação e no recetor.

O quarto capítulo irá descrever o enquadramento do ruído ambiental na legislação de Portugal e do Brasil.

O quinto capítulo, apresentará os instrumentos de planeamento utilizados em Portugal e no Brasil ao nível do ruído ambiental.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as considerações finais, destacando-se os pontos mais importantes do estudo e realizando-se uma breve comparação com os instrumentos de planeamento utilizados em Portugal e no Brasil.

As referências bibliográficas são apresentadas no final e indicam as principais fontes consultadas para a elaboração do presente trabalho.

2. Ruído Ambiental

2.1. Som e Ruído

A diferença entre som e ruído normalmente está relacionada com a sensação de desagradabilidade. Podemos definir o som como uma liberação de energia que foi emitida por uma fonte sonora, sendo essa energia propagada em forma de ondas mecânicas e que produzem sensações no ouvido humano. Já o ruído pode-se definir como sendo um som desagradável ou que gera incômodo para os seres humanos (Silva, 2012).

Gerges (1992), caracteriza o som como sendo flutuações de pressão em um meio compressível, porém não são todas as flutuações de pressão que podem produzir sensações de audição quando atingem o ouvido humano. O som está presente na vida do ser humano em diversas formas, como música, ondas do mar, etc. Alguns sons produzidos são desagradáveis e indesejáveis, sendo definido como Ruído.

Já Bistafa (2018), diz que o som é uma sensação produzida no sistema auditivo, e um ruído é um som indesejável, com conotação negativa ou ainda um som sem harmonia.

O ouvido humano é capaz de perceber ondas sonoras com a mesma energia, porém com frequências distintas, estando a gama de frequência de maior sensibilidade entre os 500Hz e 4.000Hz. Quando a frequência está abaixo de 500Hz, os infra-sons, ou acima de 4.000Hz, os ultrassons, a sensibilidade do ouvido humano diminuem (Silva, 2012).

A percepção do som ocorre somente quando a amplitude e frequência das flutuações estiverem dentro de determinadas faixas de valores. Amplitudes inferiores a certos mínimos não serão audíveis, como também ondas de alta intensidade podem produzir sensações de dor. Pode-se referir também as ondas de frequência acima ou abaixo dos valores da sensação auditiva, sendo denominadas, respectivamente, ultrassônicas e infrassônicas (Gerges, 1992).

Um dos efeitos mais comuns provocados na população pelo ruído ambiental é a incomodidade geral, a ser medido em uma escala que varia de 0 a 100 pontos, e considera-se que o ser humano está altamente incomodado com o ruído quando lhe é atribuído um valor igual ou maior a 72 pontos. Usualmente expressa-se o grau de incomodidade geral (%HA) na população em percentagem (Silva, 2012).

2.2. Quantificação do Ruído

O ouvido humano consegue perceber uma ampla extensão de valores de pressões sonoras, que vai desde o limiar de detecção auditiva, aproximadamente 0,00002 Pascal (Pa), até o limiar de desconforto auditivo, situado em cerca de 20 Pascal (Pa). Devido a medição direta da pressão do ar em unidades lineares como o Pascal (Pa), a expressão da pressão sonora é mais eficazmente realizada por meio de uma escala logarítmica devido a amplitude entre seus limiares (APA, 2024).

O nível de pressão sonora (L_p) é uma medida fundamental na caracterização da intensidade de uma onda sonora em relação a uma referência padrão. Matematicamente, é calculado como o logaritmo da razão entre o quadrado da pressão sonora medida e o quadrado da pressão de referência, geralmente definida como a menor pressão sonora audível pelo ouvido humano, aproximadamente 20 μ Pa (Silva, 2012).

A expressão matemática do L_p é dada por:

$$L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad [1]$$

Onde:

L_p é o nível de pressão sonora em decibéis (dB);

P é a pressão sonora medida em Pascal (Pa);

P_0 é a pressão de referência, geralmente 20 μ Pa.

A utilização de decibéis oferece uma escala logarítmica que abrange uma ampla faixa de valores de pressão sonora de forma mais compacta e gerenciável. Isso é especialmente útil em aplicações práticas, onde há uma variação considerável nos níveis de pressão sonora a serem avaliados, como em estudos de acústica ambiental, engenharia de som e segurança ocupacional (Silva, 2012).

Nesse contexto, o decibel (dB) emerge como a unidade de medida padrão, oferecendo uma representação relativa e logarítmica da pressão sonora. Essa escala varia de 0 dB, correspondente ao limiar de detecção auditiva, até 120 dB, indicando o limiar de desconforto ou dor auditiva. A adoção dessa escala logarítmica permite uma representação mais precisa e eficiente da percepção humana da pressão sonora em uma ampla faixa dinâmica, facilitando tanto a análise quanto a comunicação de dados acústicos em diversas aplicações técnicas (APA, 2024).



Figura 2: Representação da quantidade de decibéis (APA, 2024).

Segundo Gerges (1992), o ouvido humano não tem sensibilidade uniforme a todas as frequências sonoras, sendo mais sensível na faixa de 2.000 Hz a 5.000 Hz e menos sensível às frequências muito baixas ou muito altas. As curvas de ponderação no gráfico a seguir (Figura 3) usam 1.000 Hz como o valor de referência, assumindo que, nessa frequência, a percepção do som não sofre alteração, sendo o mesmo para todas as opções de curvas disponíveis.

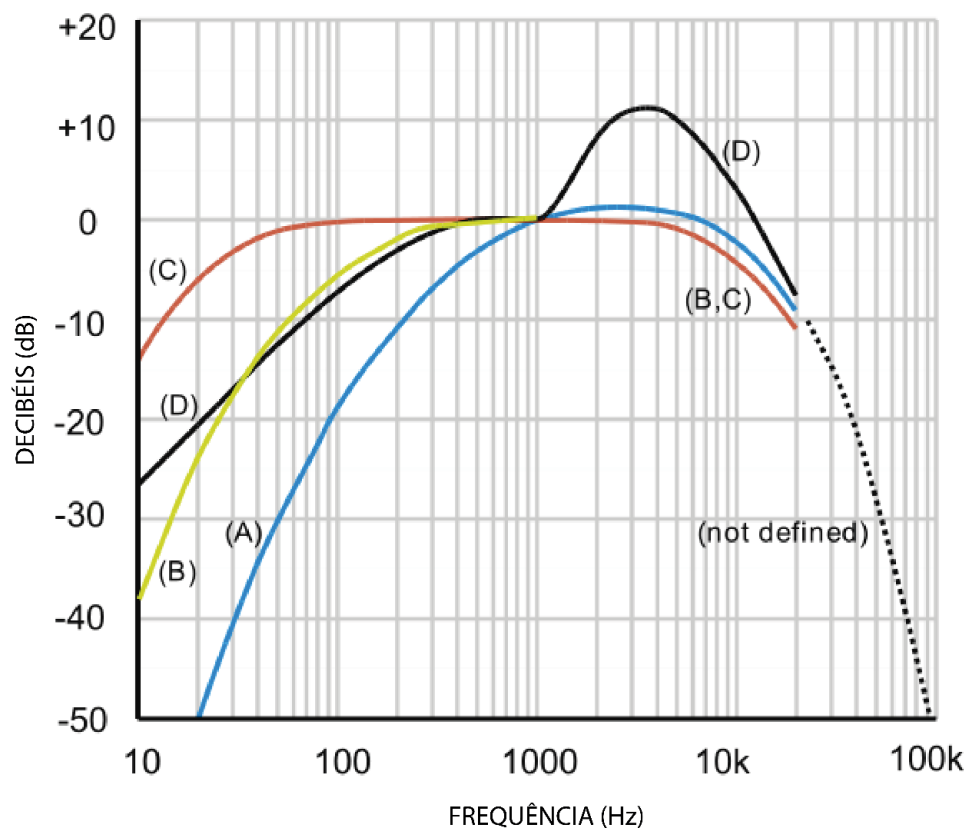


Figura 3: Gráfico das curvas de ponderação acústica (Skirrow, 2009)

As curvas de ponderação são divididas em A, B, C e D e essas são utilizadas para corrigir o nível sonoro em decibéis, realizando uma ponderação com as frequências. A curva A é a que mais se aproxima a sensação auditiva humana, sendo por este motivo a curva de ponderação mais utilizada. As curvas B e C são raramente utilizadas. Já a curva D é utilizada para ruídos de sobrevoos de aeronaves, e em medições em aeroportos (Bessa, 2015).

Quando duas fontes sonoras idênticas geram, cada uma, um nível de pressão sonora de X dB no mesmo ponto, o nível sonoro total resultante será (X + 3) dB. Isso ocorre porque em escala logarítmica, a combinação de duas fontes sonoras com a mesma intensidade resulta no aumento de 3 dB no nível sonoro total (Bistafa, 2018).

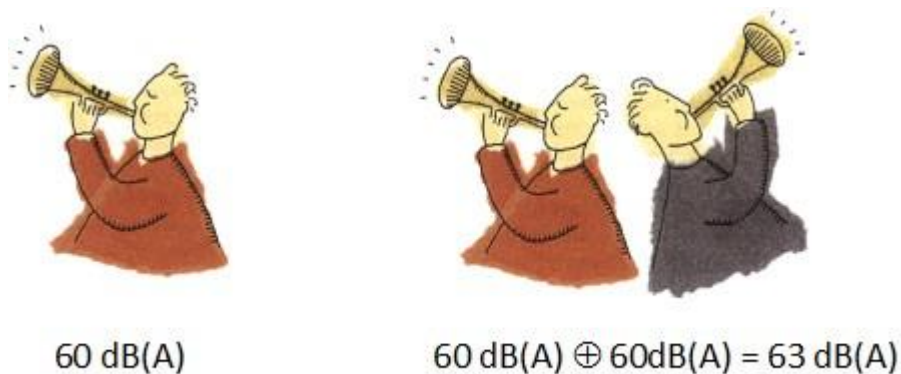


Figura 4: Soma de pressão sonora de igual valor (APA, 2024)

Silva (2012), refere que quando duas fontes sonoras estão a produzir sons em simultâneo, e o ruído correspondente difere em 10 dB(A) ou mais, o ruído de menor valor é sobreposto pelo de maior valor, sendo assim o resultado da adição das duas fontes um nível de pressão sonora aproximadamente igual ao ruído de maior valor (Figura 5).



Figura 5: Soma de ruídos de valores diferentes.

2.3. Indicadores de ruído ambiental

2.3.1. Indicador Médio - Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq)

O nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) é utilizado na representação de um som contínuo em um espaço de tempo específico, que possui a mesma energia sonora do som em estudo e que seu nível sonoro varia com o tempo. Utiliza-se esse indicador em avaliações de exposição ao ruído ambiental, por se tratar de um valor considerado como padrão de análise para ruídos ambientais (Nagem, 2004).

Segundo Silva (2012), esse indicador é utilizado por melhor representar o ruído de um determinado local durante um período de tempo. Define-se que este indicador é o nível de pressão sonora assumido constante e equivalente ao ruído efetivamente emitido e variável. Este indicador pode ser representado para várias unidades temporais como, minuto, hora, dia, etc.

O L_{eq} representa o nível do ruído contínuo ao qual as pessoas estão expostas, em várias situações, devido aos diversos tipos de ruído, sendo equivalente ao ruído original que é variável (Gerges, 1992).

Segundo Silva (2012), a fórmula para o cálculo do L_{eq} é dada por:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{t} \int_0^t \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right) \quad [2]$$

Onde:

t = tempo de medição do som;

p(t) = pressão sonora instantânea, em Pa;

p₀ = pressão sonora de referência, em Pa;

De acordo com o Regulamento Geral do Ruído (RGR , 2007) o nível de pressão sonora equivalente deve ser dividido em 3 subindicadores, que quantificam um valor de pressão sonora para cada um dos períodos abaixo

indicados e que levam em consideração o incómodo global e as actividades humanas típicas:

- Leq_{dia} , que corresponde ao período entre as 7h e às 20h.
- $Leq_{entardecer}$, que corresponde ao período entre as 20h e às 23h.
- Leq_{noite} , corresponde ao período entre as 23h e às 7h.

O Nível de pressão sonora equivalente dia, entardecer e noite (Leq_{den}) é utilizado para indicar o nível de incomodidade sonora, ponderado na curva A, fazendo medições representativas de 1 ano e é expresso pela fórmula [3]. O nível sonoro equivalente entardecer é, por sua vez, utilizado para avaliar o incómodo ao entardecer e após calculado é majorado em 5dB. O nível sonoro equivalente noite (Leq_{noite}) é utilizado para avaliar as perturbações do sono, a ser calculado em um período de exposição noturno médio anual, ponderado na curva A, e após calculado é majorado em 10dB.

$$Leq_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \right) \left(13 \times 10^{\frac{leq_{dia}}{10}} + 3 \times 10^{\frac{leq_{entardecer}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{leq_{noite}+10}{10}} \right) \quad [3]$$

No Sétimo Programa de Acção do Ambiente, definiu-se que os níveis de ruídos superiores a 55dB para Leq_{den} e 50dB para Leq_{noite} são considerados como níveis de ruído elevados (*European Environmental Agency EEA, 2020*).

2.3.2. Indicadores de picos - Máximo ($L_{máx}$) e Mínimo ($L_{mín}$)

Os indicadores $L_{máx}$ e $L_{mín}$ representam, respectivamente, os níveis do ruído máximo e mínimo medidos a que as pessoas estão expostas, durante o período de medição. Esses índices são conhecidos como indicadores de picos (Silva, 2012).

Segundo Nagem (2004), o $L_{máx}$ é a medição mais elevada registada do ruído ambiental que ocorreu durante o período de tempo em que houve exposição. Já o $L_{mín}$ é o nível de ruído ambiental de menor valor que foi medido durante o tempo de exposição.

2.3.3. Indicadores estatísticos – L_1 , L_5 , L_{10} , L_{95} .

Estes indicadores fornecem informações a respeito do nível de pressão sonora que foi excedido durante o tempo de medição, como por exemplo, o L_{10} representa o nível de pressão sonora que foi excedido durante 10% do tempo de medição (Silva, 2012).

Outros indicadores utilizados são o L_{95} , utilizado para indicar o nível de pressão sonora que foi excedido durante 95% do tempo de medição de ruídos constantes e também o L_1 e L_5 para ruídos máximos. O L_{10} é normalmente utilizado para estudos do ruído ambiental relacionado ao trânsito (Nagem, 2004).

2.4. Equipamentos de medição de ruído ambiental

O mercado de equipamentos de medição de ruído possui vários aparelhos, diferenciando-se entre aqueles que medem as pressões sonoras, os sonómetros e dosímetros, das ondas de intensidade.

Um dos equipamentos muito importantes na medição de ruído é o microfone, devendo este ser de alta qualidade a possibilitar a conversão da grandeza física pressão acústica em sinal elétrico. Este sinal é introduzido em pré-amplificadores lineares e circuitos de compensação para depois ser indicado em decibéis (dB), ou decibéis A (dBA), a depender da compensação indicada no aparelho (Gerges, 1992).

Dentre os aparelhos de medição do ruído ambiental, os que mais se destacam são os Sonómetros ou Fonómetros com análise de frequência (Figura 6). Os sonómetros são utilizados para realizar a medição do nível de pressão sonora, avaliando a exposição ao ruído, e que funcionam de forma semelhante à recepção do som do ouvido humano, podendo alterar suas configurações e desconsiderar qualquer ponderação que esteja a ser utilizada (Silva, 2012).



Figura 6: Equipamento Sonómetro com calibrador (PCE Instruments, 2025)

Segundo Silva (2012), para a realização de uma medição de ruído ambiental para obtenção de um resultado de melhor qualidade, deve-se respeitar algumas regras básicas como: a utilização de tripé para a estabilização do equipamento; utilizar um protetor de vento, principalmente em medições exteriores evitando qualquer perturbação na medição; utilização de equipamentos adequados a cada cenário de medição (interior, exterior); além de afastamentos mínimos de superfícies e condições meteorológicas adequadas.

Já o dosímetro é um aparelho portátil e que é utilizado para medir o nível de ruído equivalente durante um período de tempo, realizando uma comparação com o nível registado com normas em vigor e indicando se o valor medido ultrapassou os 100% normativos.



Figura 7: Equipamento Dosímetro

O dosímetro tem particular utilização em contexto de saúde no trabalho. Esse aparelho é utilizado quando o nível de ruído é variável, como por exemplo um trabalhador que executam várias funções em diferentes ambientes. Normalmente instala-se o dosímetro próximo ao ombro, com o microfone posicionado próximo ao ouvido para captação dos ruídos enfrentados pelo trabalhador.

2.5. Métodos de previsão de ruído ambiental

As medições realizadas do nível de pressão sonora em um certo local, irão informar dos dados pontuais referentes aquele lugar e horário em específico, sendo assim necessário recorrer a métodos e modelos de previsão de ruído ambiental para poder simular diferentes situações e variáveis a considerar que possam alterar o ruído ali produzido, tornando possível gerar cenários com fluxos de tráfego diferentes, outros tipos de pavimentos, etc (Silva, 2012).

Segundo Silva et al.(2002), os modelos de previsão de ruído ambiental apresentam uma vantagem significativa ao permitir a simulação de cenários não existentes de maneira eficiente em termos de tempo e custo. Esses métodos devem fornecer resultados precisos que reflitam de forma fiel a situação real, facilitando a análise em vários cenários e possibilitando a prevenção de ruídos excessivos.

Observa-se que os modelos de previsão possuem parâmetros necessários e decisivos para a real representação das situações do ruído de tráfego, tais como as fontes de som, as condições topográficas, localização dos recetores, obstáculos entre a fonte e o recetor como também atenuações devidas ao ar e ao solo (Silva, 2012).

Encontram-se no mercado várias opções de modelos de previsão de ruído ambiental, sendo utilizado para a base do seu desenvolvimento o “Novo Método de Precisão do Ruído de Tráfego (NMPB96)” que foi elaborado na França em 1996 através das entidades *Centre d’Études sur les Réseaux, les Transports, l’Urbanisme et les Constructions Publiques* (CERTU), *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*

(LCPC) e *Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes* (SETRA) (Silva et al., 2002). Atualmente o modelo recomendado pela diretiva europeia do ruído é o CNOSSOS (2020), que foi elaborado a partir de uma evolução do NMPB96.

2.6. Origem do ruído ambiental

O ruído ambiental é um poluente que está relacionado à saúde dos seres humanos afetando-os negativamente. Define-se o ruído ambiental como um som exterior indesejado ou prejudicial criado pela atividade humana. Pode-se dizer que as fontes mais significativas de ruído estão diretamente ligadas aos meios de transporte, como tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo. É necessário lembrar que as atividades industriais, mesmo que em menor proporção, também contribuem negativamente para o ruído ambiental (European Environmental Agency [EEA], 2020).

Segundo o Regulamento Geral do Ruído (RGR, 2007) o ruído ambiental pode ser causado pelos seguintes fatores: Laboração da indústria, do comércio e serviços; infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo; obras da construção civil; espetáculos, diversões, mercados; sinais sonoros de alarmes e ruídos de vizinhança.

Um dos grandes causadores da poluição sonora na atualidade é o tráfego de veículos e que possui um fator agravante, o material utilizado nos pavimentos possuem características que permitem refletir os sons gerados sobre eles (Bessa, 2015).

Bessa (2015) também afirma que existe alguma correlação entre o ruído gerado e a quantidade de veículos que transitam pela via, quanto maior a fluxo de veículos, maior será o ruído, devido ao funcionamento de seus motores em caso de velocidades baixas ou devido ao atrito dos pneus com o pavimento quando se observa uma velocidade maior, neste caso sobrepondo os ruídos de motor.

Silva (2012), refere ainda a existência de uma correlação entre a composição do tráfego (percentagem de ligeiros e pesados) e o ruído emitido, bem como entre o tipo de tráfego (fluído ou ininterrupto) e o ruído gerado.

2.7. Propagação do ruído ambiental

A propagação do som é estudada em três fases distintas: geração pela fonte, trajetória de transmissão e receção. As fontes de som podem ser classificadas em dois tipos principais: pontuais e lineares. As fontes pontuais são aquelas cujas dimensões são muito pequenas em relação à distância até o recetor, enquanto as fontes lineares consistem numa série de fontes pontuais dispostas ao longo de uma linha, propagando-se simultaneamente pelo meio (Gonçalves, 2014).

Segundo Gerges (1992) a propagação do som é realizada em forma de ondas esféricas a partir de uma fonte pontual onde se observa que caso existam obstáculos no percurso ou a não uniformidade do ambiente de propagação, ocorrendo por conta de condições meteorológicas adversas como ventos e gradiente de temperatura, a propagação do som poderá sofrer alterações.

Segundo Silva (2012) as ondas sonoras podem ser classificadas em três formas geométricas distintas: esféricas, cilíndricas e planas. As ondas esféricas originam-se de fontes pontuais, como o som gerado por um veículo automóvel. As ondas cilíndricas são produzidas por fontes lineares, como o ruído de uma via de tráfego rodoviário. Por fim, as ondas planas resultam de fontes planares, como as geradas pelas paredes externas de uma nave industrial.

A dimensão da fonte emissora possui relevância na geometria das ondas geradas e quando o comprimento de onda é muito maior que a dimensão da fonte, como ocorre em um martelo pneumático, elas são esféricas e por outro lado quando o comprimento de onda possui um comprimento menor que a dimensão da fonte, a radiação sonora da fonte possui uma tendência a ser direcional (Bistafa, 2018).

Bistafa (2018) complementa que a potencia sonora emitida por uma fonte gera um nível sonoro que pode ser medido nas proximidades da fonte e que o

nível sonoro é atenuado à medida que o som se propaga, entre a fonte e o receptor, ao longo de determinada trajetória.

Silva (2012) afirma que “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 receptor”.

As fontes lineares e planares podem ser modeladas como uma série de fontes pontuais distribuídas uniformemente ao longo de uma linha ou superfície. Ao integrar os efeitos individuais de cada fonte pontual ao longo do comprimento total, essa distribuição tende a se aproximar de uma propagação cilíndrica. Nesse tipo de propagação, a redução do nível sonoro é de apenas 3 dB a cada duplicação da distância percorrida pelo som (Silva, 2012).

Gonçalves (2014) descreve que “Para fontes sonoras pontuais existe um decaimento do nível sonoro de 6 dB a cada vez que a distância à fonte duplica, enquanto que numa fonte sonora linear esse decaimento é de 3 dB ao dobrar a mesma distância” (p.11).

Um dos fatores mencionados por Silva (2012) é o vento, que pode influenciar significativamente a propagação do som, especialmente em grandes distâncias. O vento pode fazer com que o som se intensifique na sua direção e seja atenuado na direção contrária.

A propagação do som pode ser influenciada pelo vento, que pode criar efeitos ascendentes ou descendentes. No efeito descendente, o som propaga-se na direção do vento. Devido à resistência da superfície, a velocidade do som é reduzida junto ao solo, aumentando com a altitude. Durante o dia, a temperatura mais alta da superfície em relação ao ar ao redor favorece a propagação ascendente. À noite, o fenômeno se inverte, promovendo o efeito descendente. Esses efeitos podem alterar a percepção da intensidade sonora, uma vez que, no efeito descendente, ocorre um aumento na pressão sonora no receptor. Para distâncias até 50m, os efeitos do vento não possuem grande influência no nível sonoro, podendo observar alterações em distâncias maiores (Gonçalves, 2014).

A temperatura do ambiente também afeta a propagação do som. Quando a temperatura perto do solo é mais alta, os raios sonoros se curvam para baixo, o que faz com que o som atinja os receptores com menor intensidade, pois a área

de propagação se expande. Durante a noite, quando a temperatura próxima ao solo é mais baixa, o efeito se inverte: os raios sonoros se propagam de forma mais reta, concentrando a energia em uma área menor e aumentando a intensidade sonora no receptor (Silva, 2012).

Outro fator que influencia a propagação do som são os obstáculos na trajetória. Ao atingir esses obstáculos o som poderá sofrer reflexão, ser absorvido, ser transmitido ou pode ocorrer a difração. Ao se instalar um obstáculo entre a fonte e o receptor, observa-se alterações na propagação do som o que pode resultar em vários percursos distintos. Em cidades, as edificações e muros atuam como obstáculos, principalmente do ruído gerado pelo tráfego de automóveis, influenciando de alguma maneira a propagação sonora (Silva, 2012).

3. Medidas de Controle do Ruído Ambiental

O controle do ruído ambiental é fundamental para melhorar a qualidade de vida nas cidades, promovendo um ambiente tranquilo e sustentável e contribuindo para a saúde pública dos cidadãos. “Todo problema de controle de ruído envolve uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor”, (Bistafa, 2018, p. 315), (figura 8).

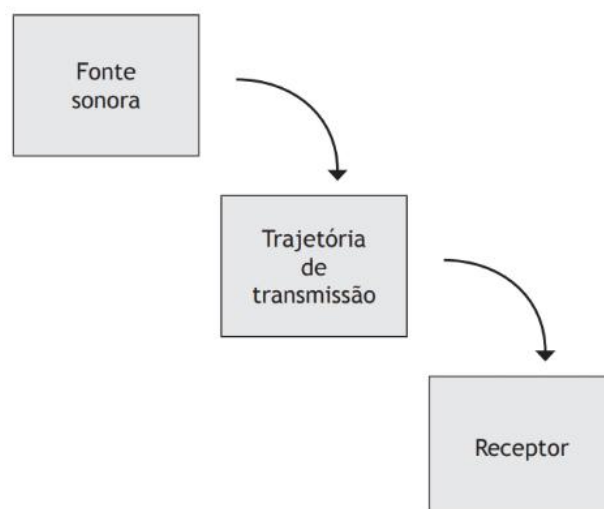


Figura 8: Ruído sonoro desde a fonte ao receptor. Bistafa, (2018, p. 316)

“A identificação e localização das principais fontes de ruído ambiente são informações que permitem a identificação das áreas particularmente afetadas pelo ruído ambiente e decidir quais as áreas prioritárias para implementação de medidas de redução de ruído”, (Silva, 2012, p. 62).

Existem diversas formas de controlar o ruído ambiental. Silva (2012) classifica-as como medidas de atuação na fonte, medidas de atuação na propagação e medidas de atuação no recetor. Segundo a autora, essas intervenções devem seguir uma hierarquia para maximizar a eficácia. Deve-se priorizar a atuação na fonte, em seguida, aplicam-se as medidas no meio de propagação e por fim, utilizam-se as medidas no recetor.

Além dessas medidas, “o ruído urbano pode ser mitigado por estratégias de uso e ocupação do solo e de planos de redução e comunicação com o objetivo de conscientizar os habitantes acerca da gravidade do excesso de ruído”, (Yanagiya, 2021, p. 37).

3.1. Medidas de atuação na fonte

As medidas de atuação na fonte consistem em uma intervenção direta na fonte geradora do ruído, por isso também são denominadas como medidas de protecção activas. Para que sejam adotadas medidas dessa natureza, torna-se necessário conhecer as características de emissão dos elementos que contribuem para a produção de ruído. “Para que modificações possam ser sugeridas, deve-se em primeiro lugar entender como o som é produzido”, (Bistafa, 2018, p. 316).

No cenário urbano, por exemplo, Silva (2012) destaca que a potência acústica emitida pelo fluxo de tráfego varia de acordo com o volume e o tipo de veículos e o modo de condução. O ruído emitido por um veículo é influenciado pelo perfil aerodinâmico, pelo som emitido pela carroçaria, motor e, principalmente, pelo ruído gerado pela interação entre pneus e pavimento. Esse último fator, devido aos avanços da indústria automóvel, é o maior contribuinte para o ruído em todas as classes de veículos, influenciado pelo tipo de pneu e pela natureza do pavimento.

Diante disso, diversas medidas podem ser adotadas para reduzir o ruído ambiental gerado pelo tráfego. Alterações no tipo de pavimento e no material dos pneus, controle do volume de tráfego em áreas sensíveis, além de estratégias de gestão de tráfego e de moderação (*traffic calming*), como a criação de zonas de baixa velocidade e o estreitamento da via, são eficazes na diminuição dos ruídos sonoros, promovendo um ambiente urbano mais saudável e confortável para seus habitantes.

O ruído causado pela interação entre os pneus e o pavimento está diretamente relacionado com a velocidade do veículo. A cada duplicação da velocidade, observa-se um aumento significativo de aproximadamente 12 dBA no nível de pressão sonora. Em velocidades mais baixas, para ligeiros abaixo de 30 km/h e pesados abaixo de 40 km/h, o ruído é predominantemente gerado pelo motor. No entanto, à medida que a velocidade aumenta, o ruído proveniente da interação pneus-pavimento se torna mais significativo. Para veículos ligeiros que circulam acima de 50 km/h e pesados a mais de 80 km/h, o som gerado pela movimentação dos pneus sobre o pavimento passa a ser a principal fonte de ruído. Como medida de atenuação, pode-se realizar a substituição do tipo de pavimento como também o material do pneu.

Quanto à gestão de tráfego, no que se refere às diversas medidas de controle de fluxo e velocidade para reduzir o ruído ambiental, podem-se considerar abordagens que envolvem a limitação de tráfego em zonas sensíveis, mudanças no volume de tráfego e ajustes na infraestrutura viária. Contudo, é importante atentar-se que “para reduzir o nível de ruído de forma significativa, é necessária uma grande diminuição no volume do tráfego”, Yanagiya (2021, p. 49), conforme ilustrado na tabela 2.

Tabela 2: Tabela de redução de ruído por redução de volume de tráfego, Yanagira (2021, p.50).

Redução no volume de tráfego	Redução sonora
10%	0,5 dB
20%	1,0 dB
30%	1,6 dB
40%	2,2 dB
50%	3,0 dB
75%	6,0 dB

Além da redução do volume do tráfego, de acordo com Silva, (2012, p. 66), “a redução da velocidade traz como consequência a diminuição do ruído produzido pelo veículo, apesar de este decréscimo não ser linear, dado que o motor a baixas velocidades é mais ruidoso”. Dessa forma, ações que implementem a redução da velocidade da via, também são uma medida que pode ser adotada como forma de atenuar o ruído ambiental, conforme ilustrado na tabela 3.

Tabela 3: Quadro da redução de ruído com a redução da velocidade, Yanagira (2021, p.51).

Mudança de velocidade	Redução sonora
De 110 para 100 km/h	0,7 dB
De 100 para 90 km/h	0,7 dB
De 90 para 80 km/h	1,3 dB
De 80 para 70 km/h	1,7 dB
De 70 para 60 km/h	1,8 dB
De 60 para 50 km/h	2,1 dB
De 50 para 40 km/h	1,4 dB
De 40 para 30 km/h	0 dB

Outras medidas de gestão de tráfego, também conhecidas por *traffic calming*, podem ser adotadas para reduzir os ruídos ambientais. Compilaram-se algumas dessas medidas na tabela 4, indicando a média da redução sonora.

Tabela 4: Medidas de gestão de tráfego e atenuações. Elaborado pelo autor com base em (Carvalho & Rocha, 2008).

Medidas de Gestão de Tráfego	Redução Sonora
Estreitamento das vias	0 a - 2 dB
Construção de rotundas	0 a - 4 dB
Instalação de bandas sonoras termo-elásticas	0 a + 4 dB
Instalação de bandas sonoras em cubos de granito	0 a + 3 dB
Instalação de dispositivos sonoros de vibração	0 dB
Construção de lombas com forma circular	0 a - 2 dB
Construção de lombas extensas com topo de nível	0 a + 6 dB
Construção de lombas parciais e interrompidas	0 a + 1 dB

Medidas de acalmia de tráfego, conjugando diversos dispositivos de redução de velocidade	0 a - 4 dB
Definição de zonas com limite máximo de 30km/h	0 a - 2 dB
(Carvalho & Rocha, 2008)Sinalização de aviso de incomodidade sonora para redução de velocidade	-1 a - 4 dB
Restrições de circulação de pesados durante a noite	0 a - 7 dB
Introdução de cruzamentos	-1 a - 3 dB
Introdução de cruzamentos e semáforos	0 a - 7 dB
Promoção do uso de transportes alternativos	0 a - 2 dB

A título ilustrativo, mostra-se nas figuras 9 a 12 a aplicação de algumas medidas usualmente adotadas como *traffic calming*.

O estreitamento de via é um dos métodos de gestão de tráfego que quando aplicado, diminui a velocidade do tráfego e ainda adiciona espaço público (National Association of City Transportation Officials [NACTO], 2013).



Figura 9: Representação de modelo de estreitamento de via

As rotundas normalmente são “constituídas por ilhas circulares e transponíveis, colocadas no centro das intersecções, obrigando os condutores a circular em torno delas, levando a uma redução das velocidades e à atenuação dos conflitos entre veículos e peões” (Seco et al., 2008, p. 21).

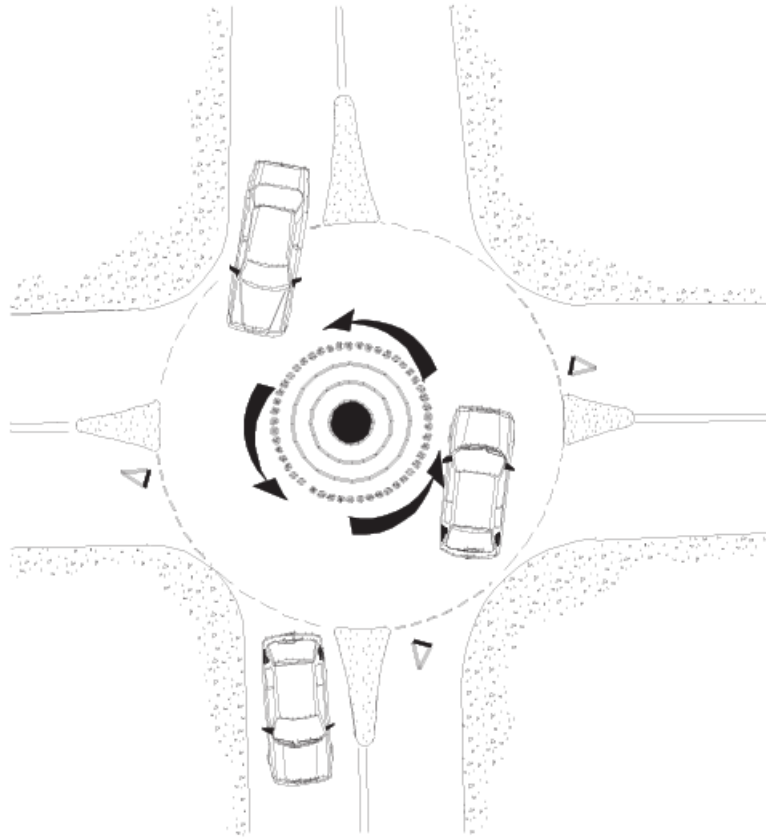


Figura 10: Representação de uma rotunda, (Seco et al., 2008).

Na figura a seguir, representamos as lombas circulares, que são utilizadas também como forma de acalmia de tráfego, usualmente utilizadas em vias de baixo volume de tráfego e baixa velocidade. As suas dimensões são calculadas a depender da velocidade-alvo desejada.



*Figura 11: Lombas com forma circular
(National Association of City Transportation Officials [NACTO], 2013).*

Outro método de acalmia de tráfego é a criação de zonas em que a velocidade máxima é restringida a 30km/h. Esta metodologia é normalmente utilizada em zonas residenciais e centrais, (Seco et al., 2008).



Figura 12: Zona com limitação de velocidade na cidade de Braga. (Almeida, 2017)

Medidas como as apontadas na tabela 4 podem garantir não apenas a redução do ruído, mas também impactar outras políticas, como o aumento da segurança rodoviária e da qualidade do ar, (Yanagiya, 2021).

3.2. Medidas de atuação na propagação

As medidas de atuação na propagação atuam durante o percurso entre a fonte de ruído e o receptor, por isso também são denominadas como medidas de protecção passivas. Segundo Gerges, (1992, p. 223) “os fatores causadores de atenuação são: distância percorrida, barreiras, absorção atmosférica, vegetação, variação de temperatura e efeito do vento”. Conforme exemplificado na figura 13, os elementos entre a fonte emissora de ruído e o receptor são capazes de atenuar e controlar o ruído ambiental.

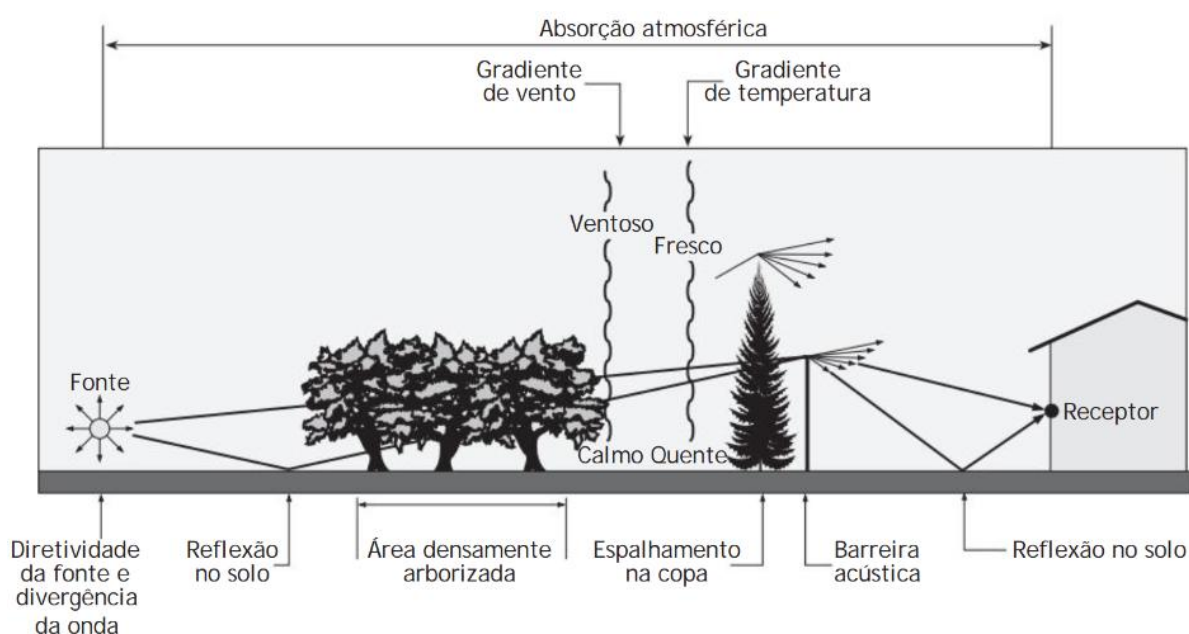


Figura 13: Elementos atenuantes. Bistafa(2018)

Um dos elementos destacado na figura 13 é a barreira acústica. De acordo com Bistafa (2018, p. 212) “uma barreira acústica é qualquer estrutura ou obstáculo que impede a visão da fonte pelo receptor”, como ilustrado na figura 14. As ondas sonoras sofrem efeitos de reflexão e absorção pela barreira, de transmissão através da barreira, e de difração no topo da barreira, este ultimo afetando negativamente a denominada zona de sombra onde os níveis de ruído são menores devido ao efeito da barreira acústica.

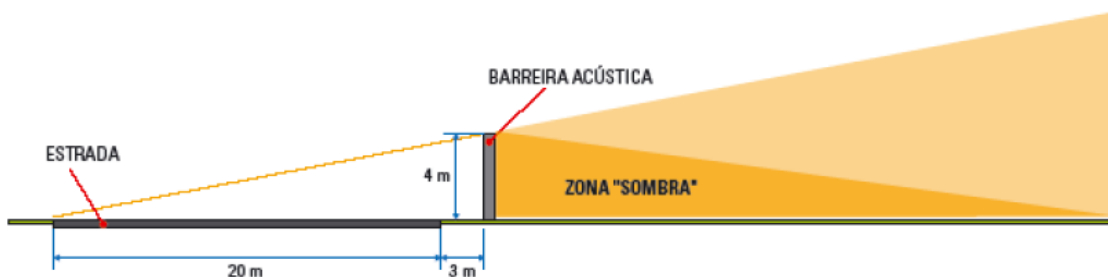


Figura 14: Área de influência de uma barreira acústica. Silva (2012 p.74)

“A performance acústica duma barreira depende da sua localização, comprimento e altura, e também das suas características de transmissão, reflexão e isolamento/absorção”, Silva, (2012, p. 74). Segundo a autora, elas podem ser classificadas como naturais, artificiais ou mistas e tem capacidade de reduzir o nível de ruído, em condições normais, de 10 a 15 dB(A) na zona de sombra. Consoante o seu tipo, possuem grande diversidade estética, devido a ampla gama de materiais disponíveis, podem apresentar maior segurança para os condutores e uma alta performance estrutural. No entanto, as barreiras acústicas podem ter um elevado custo de construção e manutenção.

A barreira acústica natural mais comum é a vegetação. Segundo Yanagira (2021, p. 86) a atenuação dos ruídos ambientais proporcionada pela vegetação “é causada pelo espalhamento sonoro nos troncos e galhos das árvores (nas médias frequências) e pelo espalhamento e absorção sonora na folhagem (nas altas frequências)”. Gerges, (1992, p. 234) ressalta ainda que “a atenuação causada pela vegetação é geralmente maior nas altas frequências”.

“Constata-se, entretanto, na prática, que a capacidade de atenuação sonora do cinturão depende muito mais da densidade, largura e altura da vegetação do que de eventuais diferenças entre formas, tipos de folhas e galhos existentes”, Bistafa (2018, p. 219). Pode-se perceber, então, que quanto maior a densidade da vegetação, maior será o seu potencial de atenuação, conforme ilustrado na figura 15.

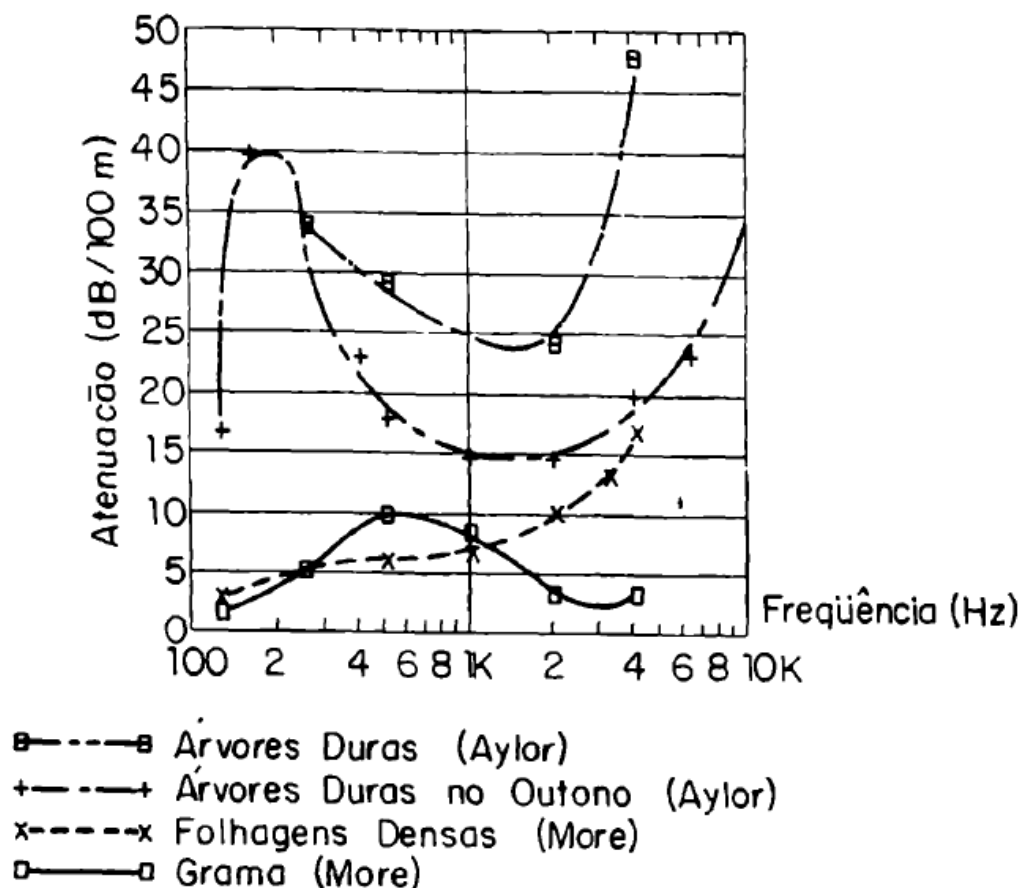


Figura 15: Redução sonora de acordo com os diferentes tipos de vegetação, (Gerges, 1992, p. 234).

Contudo, a vegetação é uma medida atenuante com pouca redução de ruído ambiental, quando comparado a outras medidas de atuação na propagação. Entretanto, Gerges, (1992, p. 234) destaca que “apesar da vegetação fornecer pouca atenuação de ruído, ela pode servir como isolador visual do recetor, fornecendo um efeito psicológico favorável”.

Outra barreira acústica natural comumente utilizada é o talude (figura 16). Este recurso é composto por uma elevação de terra disposta de forma a bloquear parcialmente a propagação sonora, funcionando como um obstáculo e atenuando o ruído ambiental.



Figura 16: Exemplo de talude, Yanagira (2021, p. 83).

Apesar de o talude ser uma solução estética e ambientalmente muito aceitável, quando comparada às barreiras artificiais, apresenta menor eficiência, pois exige mais espaço - “o topo do talude pode ficar distante da fonte de ruídos, prejudicando sua eficácia”, Yanagira (2021, p. 83).

Relativamente às barreiras artificiais, há diversos tipos, formas e materiais. De acordo com Silva, (2012, p. 73) a utilização de barreiras artificiais “ao longo das rodovias é um método que é muito adotado para reduzir os níveis de ruído ambiente em rodovias existentes e em rodovias novas”.

As barreiras artificiais podem ser feitas de diferentes tipos de materiais, como, betão, tijolo, fibra de vidro, madeira, alumínio, plástico, dentre outros, (figura 17). De acordo com Yanagira (2021, p. 80), “é muito comum a utilização de materiais fonoabsorventes no recheio, como lã de vidro, rocha ou PET, uma vez que reduzem a reflexão sonora”.



Figura 17: Exemplos de barreiras acústicas artificiais, Silva (2012).

Embora algumas barreiras acrescentem essa camada interna, o autor ressalta que a espessura não é o fator mais importante. O aspecto mais relevante é o formato da borda superior, que influencia na difração do som, afetando diretamente a redução do ruído ambiental. Silva (2012) acrescenta ainda que a barreira acústica deve ter uma densidade máxima de 20 Kg/m^2 e mínima de 10 Kg/m^2 . Segundo Bistafa (2018 p. 214) isso “significa que a barreira acústica não requer materiais especiais para proporcionar a atenuação esperada por difração”, uma vez que essa densidade pode ser facilmente atingida com materiais que garantam a estabilidade mecânica da estrutura. Na figura 18 apresentam-se alguns tipos de difratores usados em topos de barreiras acústicas em rodovias.

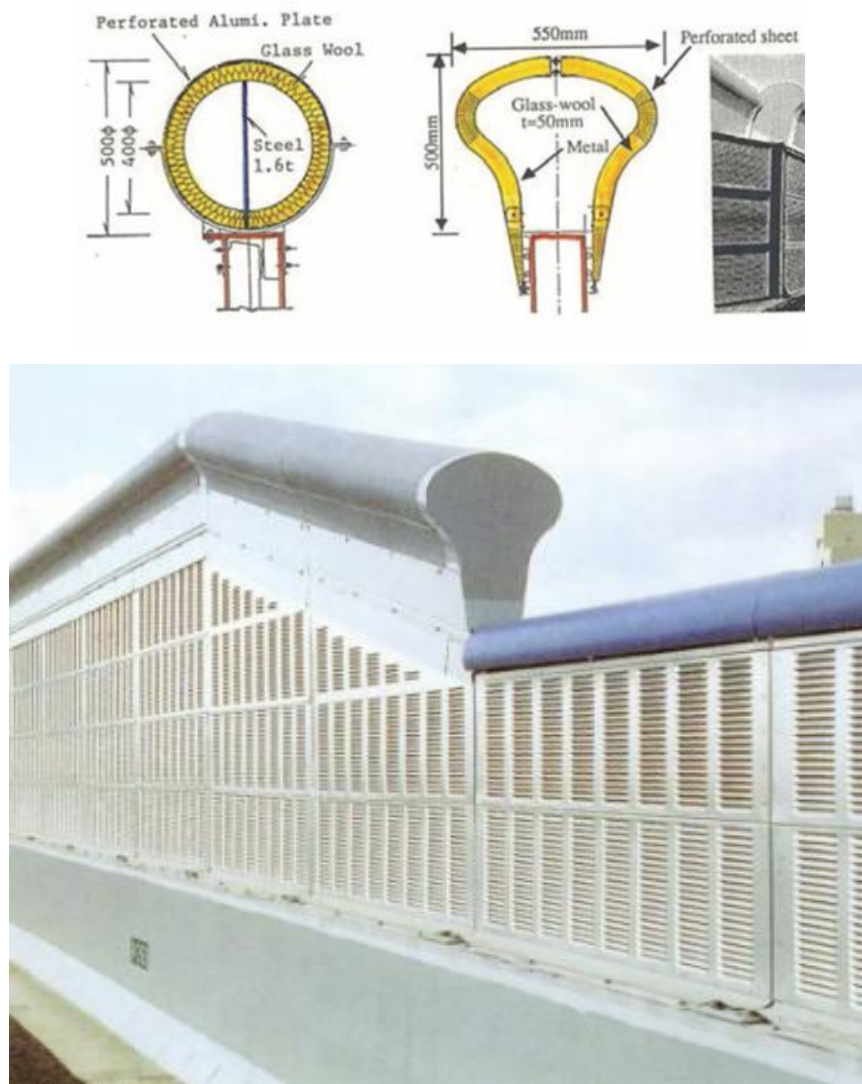


Figura 18: Representação do modelo de um difrator sonoro.

Soluções com recurso a forras em materiais com elevada absorção acústica são também utilizados junto a eixos viários que o justifiquem. Tal é o caso de barreiras em betão revestidas no intradorso com betão bois nervurado (figura 19), utilizadas em ferrovias e rodovias, (Silva, 2012).



Figura 19: Utilização de betão bois como barreira acústica

Outra estratégia para mitigar a propagação do ruído sonoro é ajustar o alinhamento da via em relação ao terreno, elevando ou rebaixando a fonte sonora. Essa medida, segundo Yanagira (2021), pode inclusive eliminar a necessidade de barreiras acústicas (Figura 20).

Segundo Silva (2012), estradas sobre-elevadas, enterradas ou em viadutos são opções que causam menos ruído no ambiente. Contudo, muitas vezes estão condicionadas a outros fatores que não tem relação com o ruído ambiental, tais como o custo, ocupação do solo e outras características intrínsecas ao solo.

De acordo com Yanagira (2021), para uma melhor atenuação sonora com o rebaixamento da via, as inclinações devem ter, preferencialmente, um ângulo mínimo de 45°. Além disso, a distância entre a fonte de ruído e a inclinação deve ser a menor possível, e o terreno deve também conter vegetação.

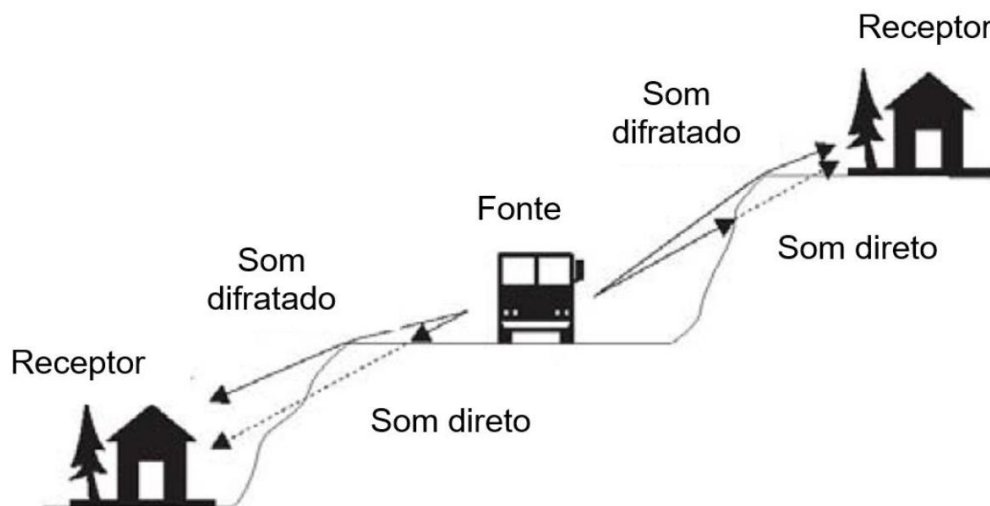


Figura 20: Difração sonora por alteração do alinhamento da via, Yanagira (2021, p. 85).

Viadutos podem ser uma solução eficaz para a redução de ruídos, especialmente quando há a instalação de painéis laterais sólidos e o uso de juntas contínuas ou soldadas durante a construção (Figura 21). No entanto, a integração dessas estruturas em áreas urbanas já consolidadas apresenta desafios estéticos significativos, exigindo um planejamento cuidadoso para minimizar impactos visuais e harmonizar o viaduto com a envolvente.



Figura 21: Barreira acústica em viaduto, (ISOLTOP, 2020).

No entanto, “do ponto de vista do ruído e de área disponível, a melhor solução em cidades e áreas construídas é a colocação das estradas em túneis”, Silva (2012, p. 70), figura 22.



Figura 22: Exemplo de túnel dentro da cidade.

Por outro lado, Yanagira (2021) diferencia os túneis, passagens subterrâneas, dos túneis falsos, que são coberturas instaladas sobre vias para atenuar os ruídos. Independente do tipo de túnel, ambos apresentam grande potencial de atenuação dos ruídos ambientais. Entretanto, dentro dos túneis, há um aumento significativo do ruído interno, especialmente na entrada e saída do túnel. Apesar de uma medida com grande resultado na diminuição dos ruídos ambientais, não é tão utilizada devido ao alto custo de construção.

Observou-se que as medidas de controle da propagação de ruídos devem, além de reduzir o ruído ambiental, ser implementadas de maneira integrada ao meio ambiente. Devem alinhar-se com outras intervenções voltadas à mitigação de impactos ambientais, a redução do impacto visual e a diminuição da poluição atmosférica. A tabela 5 sintetiza as medidas de atuação na propagação aqui apresentadas, destacando a capacidade de redução do ruído ambiental de cada uma.

Tabela 5: Redução sonora a partir de medidas de atuação na propagação. Elaborado pelo autor com base em Silva (2012) e Yanagira (2021)

Medidas de atuação na propagação	Redução Sonora
Barreiras Acústicas	5 a 15 dB
Construção de túneis ou falsos túneis	> 20dB
Construção de taludes	5 a 10 dB
Alteração do alinhamento da via em relação ao terreno	3 a 10 dB
Utilização de vegetação	< 10dB

De acordo com Bistafa (2018), o método mais eficaz para o controle de ruído é agir diretamente na fonte, ou seja, eliminando ou reduzindo a geração de ruído desde a origem. No entanto, em muitos casos, o problema de ruído só é identificado após a instalação da fonte emissora. Diante disso, as soluções de controle costumam focar na trajetória de transmissão do ruído, utilizando as técnicas apresentadas.

3.3. Medidas de atuação no recetor

As medidas de atuação no recetor consistem em intervenções pontuais nos espaços e/ou nos indivíduos a fim de minimizar as incomodidades sonoras, como os isolamentos acústicos dos edifícios e as protecções de ouvido. Segundo Silva (2012, p. 84), “o controlo de ruído na fonte e na propagação não é muitas vezes suficiente. A adoção de medidas de redução do ruído no recetor, nomeadamente, pela atuação no reforço do isolamento das fachadas dos edifícios devem ser encaradas como última solução”.

Assim, uma das principais medidas a ser adotada para atenuar os ruídos sonoros no recetor é o isolamento das fachadas dos edifícios, já que segundo Bistafa (2018, p. 219) “edificações atenuam os níveis sonoros quando se interpõem entre a fonte e o receptor”.

Assim, para o isolamento sonoro das fachadas dos edifícios, como medida de atuação no recetor, Silva (2012) agrupa-as em dois grupos, nomeadamente o reforço das envolventes opacas e o reforço dos vãos envidraçados exteriores.

O primeiro grupo refere-se ao aumentando da massa do elemento (com um limite físico de 500kg/m^2) ou à execução de paredes duplas. Segundo Bistafa (2018, p. 287) “paredes duplas são recomendadas quando se deseja uma elevada perda na transmissão com menor peso e custo”.

Conforme ilustrado na figura 23, para o caso de painéis de gesso, em situações correntes, a perda de transmissão sonora aumenta consoante o aumento do espaçamento entre os painéis e com o enchimento de material absorvente entre eles.

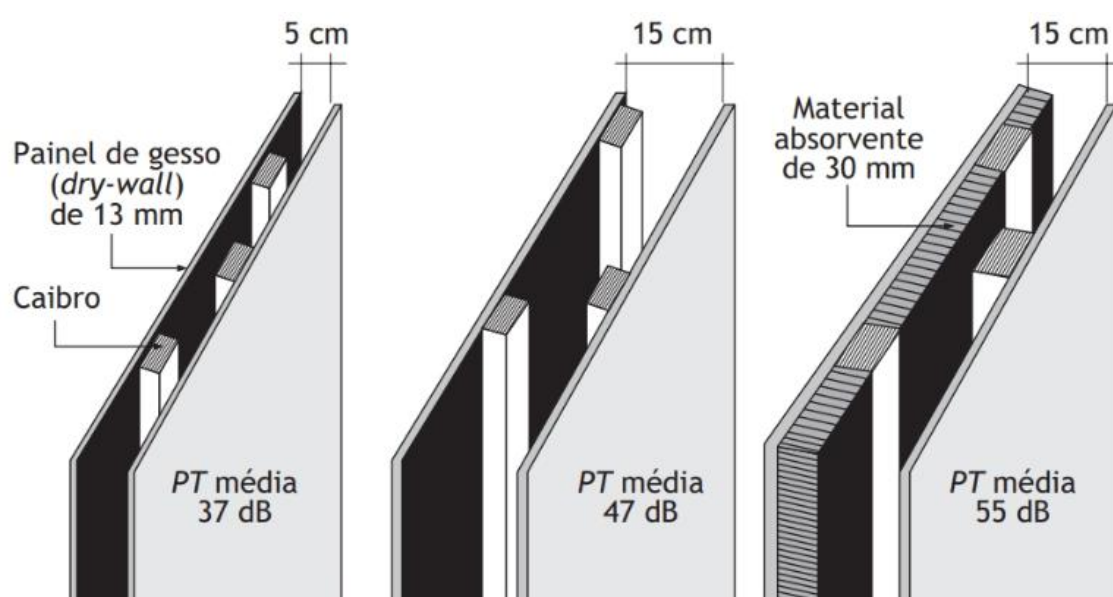


Figura 23: Perda da transmissão sonora de acordo com o afastamento dos painéis. Bistafa (2018, p. 287)

Relativamente ao segundo grupo, o reforço dos vãos envidraçados exteriores, refere-se às medidas que optam por duplicar os elementos de vidro, instalando duas janelas, ou substituindo o vidro existente por um mais espesso, laminado ou vidro duplo, sendo que a massa e a espessura da caixa de ar influenciam o seu desempenho.

Yanagira (2021, p. 89) destaca ainda que “o ruído interno a um edifício pode ser reduzido se a envolvente tiver bom isolamento acústico. Janelas, portas, paredes e até sistemas de ventilação de um edifício podem influenciar no isolamento acústico de fachadas”. De acordo com o autor, as caixilharias

também devem ser consideradas um ponto de atenção, uma vez que são os elementos mais frágeis relativamente ao isolamento acústico.

Assim, para garantir a escolha de caixilharias que apresentam um bom desempenho no isolamento acústico, deve-se ter atenção principalmente à espessura, ao tipo de material, à vedação e ao encaixe da caixilharia na parede de vedação. Silva (2012) destaca que a opção de utilizar vidros duplos é a que apresenta maior eficácia (tabela 6).

Tabela 6: Redução do ruído sono de acordo com escolha do tipo de vidro, Silva (2012, p. 83).

Tipo de envidraçado	R _w (dB)
Vidro simples (6 mm) com caixilho (pesado)	29
Vidro simples (8 mm) com caixilho (pesado)	31
Vidro simples 4 mm	29
Vidro simples 5 mm	30
Vidro simples 6 mm	31
Vidro laminado 6 mm	32
Vidro laminado 8 mm	33
Vidro duplo 4- (6 a 16) -4	29
Vidro duplo 6- (6 a 16) -4	32
Vidro duplo 6- (6 a 16) -6	31

Segundo Bistafa (2018, p. 219), “o som que atinge o receptor é aquele que, a partir da fonte, é difratado no topo das edificações ou refletido, e que se soma àquele que se transmite através das aberturas entre elas”. Percebe-se, então, que não só os elementos e materiais da fachada tem influência no nível de ruído sonoro, como também o formato e a posição das edificações.

Yanagira (2021, p. 94) destaca ainda que “a forma e orientação dos edifícios influenciam diretamente no nível sonoro interno dos recintos. Isso decorre pelo fato de poder haver mudanças na orientação ou reflexões do ruído dependendo da forma e orientação”, conforme ilustrado na figura 24.

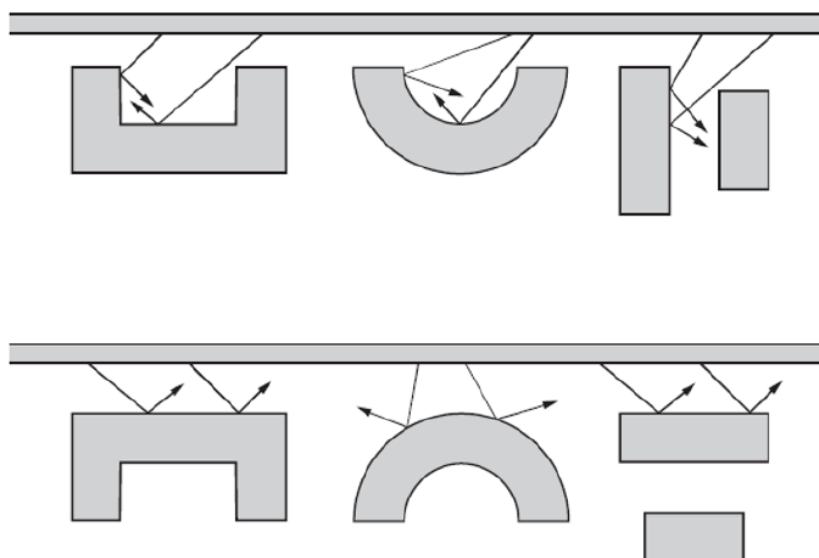


Figura 24: Comportamento do ruído sonoro de acordo com a forma da edificação, Yanagira (2021, p. 95).

Para Silva (2012, p. 83), “a forma urbana pode ter um aspecto positivo ou negativo na propagação da energia sonora. Esta pode condicionar ou favorecer fortemente a propagação do ruído no interior do tecido urbano, tornando as fachadas mais ou menos expostas ao ruído”.

Além disso, conforme aponta Bistafa (2018, p. 222), “as fachadas das edificações restringem a divergência da onda sonora, causando reverberação urbana, o que amplifica os níveis sonoros”. Por isso, faz-se necessário considerar esse aspecto ao realizar não só a disposição dos ambientes em um edifício, como também nos fatores delimitantes de uso e ocupação solo.

No âmbito da espacialização dos ambientes da edificação, pode-se considerar destinar espaços de pouca permanência próximos às fachadas de maior exposição à fonte de ruído, como escadas, casa de banho e halls de acesso. Outros elementos arquitetônicos que podem ser utilizados são as varandas, sacadas e marquises para diminuir os ruídos sonoros externos, especialmente se os mesmos possuírem materiais acústicos (figura 25).

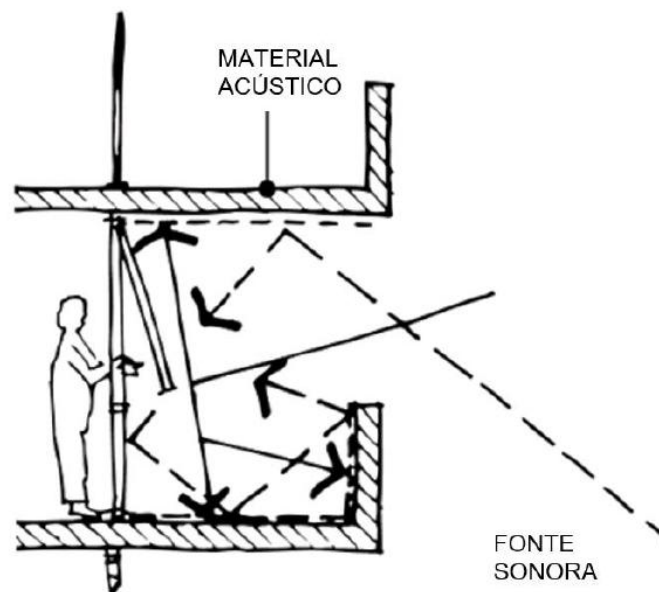


Figura 25: Exemplo do da redução de ruído sonoro devia a construção de uma varanda, Yanagira (2021, p. 95).

Esses elementos permitem uma atenuação dos ruídos entre 5-14 dBA, segundo Silva (2012). A eficácia da redução varia de acordo com a dimensão das caixilharias, o material utilizado no revestimento, a profundidade e a altura da varanda e principalmente o ângulo entre a fonte emissora de ruído, como uma rodovia.

Relativamente ao uso e ocupação do solo, deve-se considerar o destino de espaços próximos às fontes emissoras de ruído, como as vias, edifícios de atividade não sensíveis, como galpões de armazenamento. Dessa forma, poderá ser criada uma barreira acústica para os demais edifícios.

Há ainda, como medida de atuação no receptor, a proteção individual através de equipamentos para proteção auditiva, a fim de reduzir e atenuar os ruídos sonoros, como os protetores auriculares (figura 26). Normalmente essas medidas são adotadas em ambientes de trabalho que possuem um elevado nível de ruído sonoro, como indústrias e construção civil.

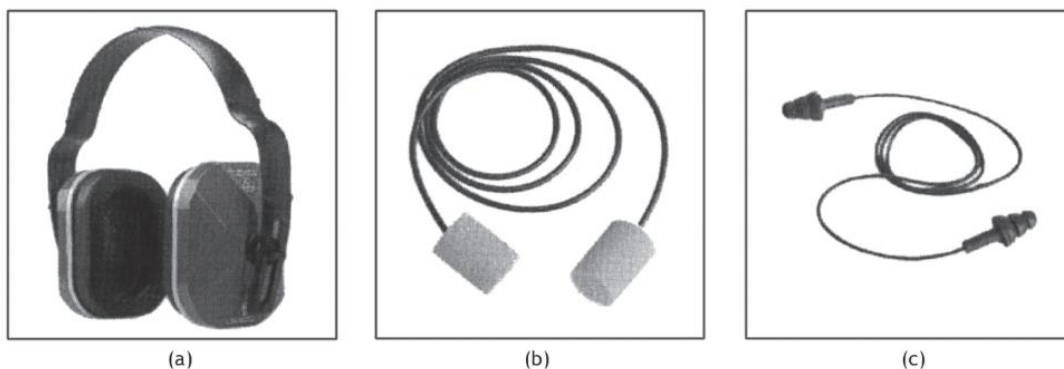


Figura 26: Exemplos de diferente tipos de protetores auriculares, Bistafa (2018, p. 356).

Estas medidas de atuação no recetor muitas vezes são adotadas devido à sua praticidade e baixo custo, quando comparado às demais opções. O ideal, no entanto, seria ter essas medidas como paleativas, priorizando a eliminação definitiva da fonte do ruído. Na prática, contudo, percebe-se a eliminação total da fonte geradora de ruído dificilmente é possível. Por isso, devem-se adotar primeiro medidas na fonte e na propagação para minimizar ou eliminar o ruído, e só então recorrer às medidas de atuação no recetor mencionadas anteriormente.

4. Enquadramento Legal do Ruído Ambiental

4.1. Enquadramento legal do ruido ambiental em Portugal

O Decreto Lei nº251/87 visou expressar de forma integrada, através da aprovação do Regulamento Geral sobre o Ruído, matéria até então repartida em legislação diversa, estabelecendo o conjunto de normas em que se apoiava um quadro legal adequado a uma política de prevenção e combate ao ruído. Com a publicação do Decreto lei 292/2000 é posteriormente aprovado o Regime Legal sobre Poluição Sonora, que, entre outros, vem reforçar a aplicação do princípio da prevenção em matéria de ruído. É então introduzida pela primeira vez a variável Ruído Urbano em sede de planeamento.

Atualmente utiliza-se o Regulamento Geral do Ruído (RGR), aprovado pelo decreto lei 9/2007 e respetivas alterações, que define novos parâmetros e que, entre outros, visa melhorar a análise desta vertente ambiental do ruído. Neste decreto, observa-se a identificação de várias atividades geradoras de ruído, como: atividades ligadas a construção civil; estabelecimentos industriais, comerciais e de serviços; Infra-estruturas de transporte, veículos e tráfegos; espectáculos, diversões, manifestações desportivas, feiras e mercados; etc.

O RGR vem definir uma nova parametrização de 3 períodos horários para a verificação dos níveis de ruído, sendo eles:

- Dia (7h às 20h);
- Entardecer (20h às 23h);
- Noite (23h às 7h).

Foi desenvolvido um indicador de incomodidade geral, representado por Leq_{den} (Nível sonoro equivalente dia, entardecer e noite), que faz uma relação entre os níveis de ruído medidos durante os períodos de um dia, já parametrizados acima, realizando um acréscimo de 5dB na medição do entardecer ($Leq_{entardecer}$) e 10dB na medição realizada no período noturno (Leq_{noite}), conforme a expressão apresentada abaixo, (RGR, 2007).

$$Leq_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \right) \left(13 \times 10^{\frac{leq_{dia}}{10}} + 3 \times 10^{\frac{leq_{entardecer}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{leq_{noite}+10}{10}} \right) \quad [5]$$

O RGR vem classificar o território em Zonas Sensíveis e Zonas Mistas. Zona Sensível é “a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno”. Zona Mista engloba todas as ocupações afectas a outros usos para além dos mencionados para a zona sensível, (RGR, 2007).

4.1.1. Critério de exposição máxima

O RGR, no seu artigo 11º, fixa os valores máximos de ruído ambiente exterior admissíveis em cada tipologia de zona, de acordo com o abaixo estabelecido:

- Zonas sensíveis:
 - $L_{den} < 55\text{dB(A)}$
 - $L_{noite} < 45\text{ dB(A)}$
- Zonas mistas:
 - $L_{den} < 65\text{dB(A)}$
 - $L_{noite} < 55\text{ dB(A)}$

Os municípios podem estabelecer, em espaços delimitados de zonas sensíveis ou mistas, designadamente em centros históricos, valores inferiores em 5 dB(A) aos fixados acima para as zonas sensíveis e mistas, (RGR, 2007).

Porém, existem alguns casos em que devido à probabilidade de existirem ou serem projetadas infraestruturas de transportes, inclusive aéreo, os valores apresentados podem sofrer alterações na sua proximidade. Para zonas sensíveis em que à data de entrada em vigor do RGR exista em exploração uma grande infra-estrutura de transportes, ou esteja projectada uma grande infra-estrutura de transporte aéreo, os limites de ruído ambiental exterior são de $L_{den} < 65\text{dB(A)}$ e $L_{noite} < 55\text{ dB(A)}$. Na hipótese de uma grande infra-estrutura de transporte não aéreo, os valores passam a ser $L_{den} < 60\text{dB(A)}$ e $L_{noite} < 50\text{ dB(A)}$.

De referir que “a instalação e o exercício de atividades ruidosas permanentes em zonas mistas, nas envolventes das zonas sensíveis ou mistas ou na proximidade dos recetores sensíveis isolados estão sujeitos ao cumprimento do critério de incomodidade.”.Silva, p. (2012, p. 36). Ao classificar uma zona como sensível, automaticamente fica proibido a instalação e o exercício de atividades que gerem ruído com carácter permanente.

4.1.2 Critério de incomodidade

Segundo o Artigo 13º do RGR, são estabelecidas diretrizes para a instalação e operação de atividades ruidosas permanentes em Portugal, com o objetivo de proteger a saúde pública e o bem-estar das comunidades. Este artigo proíbe atividades ruidosas em zonas sensíveis, como áreas residenciais e escolas, exceto em casos excepcionais. Em zonas mistas, as atividades devem respeitar limites de ruído para evitar o desconforto. Além de definir limites e critérios de

incomodidade, o artigo também impõe deveres às entidades responsáveis, que devem implementar medidas para mitigar o ruído, sendo monitoradas por órgãos competentes para garantir a conformidade com a legislação.

Neste artigo, é introduzido o critério de incomodidade, que é definido como “a diferença entre o valor do indicador L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação e o valor do indicador L_{Aeq} do ruído residual”(RGR, 2007, p. 394) sendo que em cada período do dia a diferença entre esses valores não pode exceder 5dB(A) no período diurno, 4dB(A) no período do entardecer e 3dB(A) no período nocturno.

Na lei, ainda podemos observar a descrição de parâmetros para a aplicação do critério de incomodidade que indica a necessidade de correção do valor determinado de L_{Aeq} de ruído ambiente de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído particular, o que agora será chamado de nível de avaliação, L_{Ar} , que será determinado segundo a fórmula: $L_{Ar} = L_{Aeq} + K1 + K2$ em que a constante K1 corresponde a correção tonal e K2 corresponde a correção impulsiva.

Para o caso de as características tonais ou impulsivas serem específicas do ruído particular, K1 ou K2 assume o valor de 3dB(A). Verificando a ausência dessas características, as constantes assumem o valor 0dB(A). No caso de coexistência das características, assumirão o valor da soma de $K1 + K2 = 6dB(A)$.

Para afirmar que o ruído possui características tonais, é necessário realizar medições do nível sonoro no espectro de um terço de oitava e compara-lo às bandas adjacentes e a diferença entre eles ser de 5dB(A) ou mais. Já no caso das características impulsivas, é determinado quando a diferença entre o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , medido em simultâneo com característica impulsiva e fast for superior a 6dB(A).

Utiliza-se um valor D, constante na tabela 7, que é determinado em função da relação percentual entre a duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência. Esse valor é adicionado ao limite definido pelo critério de incomodidade, já mencionado acima, (RGR, 2007).

Tabela 7: Valor adicional ao limite de incomodidade, (RGR, 2007).

Valor % (q) da duração acumulada de ocorrência do ruído particular e a duração total do período de referência	D (dBA)
$q \leq 12,5 \%$	4(*)
$12,5\% < q \leq 25\%$	3(*)
$25\% < q \leq 50\%$	2
$50\% < q \leq 75\%$	1
$q > 75\%$	0

(*) valores não aplicáveis a atividades com horários noturno

Deve-se atenção que para actividades com horário noturnos, quando $q \leq 50\%$ o valor de $D=2$. Em situações que as actividades tenham horário até as 24h, aplica-se $D=3$.

4.2. Enquadramento legal do ruído ambiental no Brasil

As leis brasileiras que estão diretamente ligadas ao ambiente vem sendo cada vez mais abordadas e discutidas pelas entidades no sentido de conservação do meio ambiente e melhorias na qualidade de vida das pessoas. Existem algumas leis e normas que abordam a temática do ruído ambiental no Brasil, sendo as de maior importância os documentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR10151 e NBR10152, como também algumas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), (Nagem, 2004).

A resolução nº1, de 08 de março de 1990, do CONAMA, estabelece critérios para o controle da poluição do meio ambiente, relacionado aos níveis excessivos de ruído. A partir dessa resolução, “as atividades geradoras de ruído devem seguir diretrizes vinculadas à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ao Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), no caso de ruído produzido por veículos automotores.”, (Nagem, 2004, p. 9).

Algumas normas brasileiras relativas ao ruído ambiental são:

- NBR 10151 – Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.
- NBR 10152 – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.
- NBR 16425-1 - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes – Parte 1: Aspectos gerais.

A primeira norma, NBR 10151, descreve os procedimentos técnicos que devem ser seguidos para as medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações. Essa norma tem como principal função estabelecer os níveis de ruído para serem comparados com os limites estabelecidos de acordo com a finalidade de uso e ocupação do solo, tencionando como um dos principais objetivos, proporcionar uma boa saúde humana e o sossego público, (ABNT, 2019).

Esta norma define métodos para medição de níveis sonoros em que se aplicam algumas correções de acordo com as características do ruído. Após comparação entre os níveis de ruído medidos e os níveis de ruído definidos pela norma como aceitáveis, é possível tomar decisões sobre medidas de redução de ruído se for necessário, (Nagem, 2004).

Nesta norma ficam estabelecidos os parâmetros mínimos que devem ser respeitados para que as medições sonoras possam representar com fiabilidade a realidade do local. Algumas das características a que é necessário dar maior atenção são: temperatura, vento, humidade relativa do ar e precipitações pluviométricas. Também são definidos os métodos, locais e pontos de medições, (ABNT, 2019).

Na norma brasileira, define-se que o período temporal referente a um dia será dividido em duas parcelas definidas nos seguintes horários: dia (07h às 22h) e noite (22h às 07h) para os dias da semana e sábados. Domingos e feriados devem-se alterar os horários para: dia (09h às 22h) e noite (22h às 09h). Vale ressaltar que esses valores são recomendações da norma, podendo as instituições estabelecerem outros horários com seus critérios, (ABNT, 2019).

Constam também na NBR10151 os níveis de pressão sonora relativos ao período de um dia, conforme definido no paragrafo anterior e que são representados por: nível de pressão sonora contínuo, ponderada em A, no período diurno (Ld); nível de pressão sonora contínuo, ponderada em A, no período noturno (Ln) e nível de pressão sonora contínuo, ponderada em A, referente a 24h (Ldn). Os valores de Ld e Ln são obtidos na medição do nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A ($L_{Aeq,T}$), determinados ao longo dos períodos diurno e noturno. Já o Ldn é calculado pela seguinte fórmula que tem em consideração a média logarítmica ponderada dos resultados de Ld e Ln.

$$Ldn = 10 * \log \left(\frac{d}{24} * 10^{\frac{Ld}{10}} + \frac{n}{24} * 10^{\frac{Ln+\Delta}{10}} \right) \quad [6]$$

Em que:

d= número de horas do período diurno;

n= numero de horas do período noturno, sendo que d+n=24h;

Δ = Diferença aritmética entre o limite de nível de pressão sonora diurno (RL_{Aeq} diurno) e limite de nível de pressão sonora noturno (RL_{Aeq} noturno) descritos na tabela 8.

Tabela 8: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período, (ABNT,2019).

Tipos de áreas habitadas	RLAeq Limites de nível de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Áreas de residências rurais	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Já a NBR 16425 descreve alguns instrumentos utilizados na medição de níveis de pressão sonora gerados por sistemas de transportes como também define condições gerais para realizar medições e ainda alguns descritores sonoros que servem para analisar os sons provenientes dos sistemas de

transporte. Essa norma se subdivide em 6 partes, sendo a primeira parte dedicada a aspectos gerais, e as outras 5 partes dedicada a cada um dos sistemas de transportes: aeroviário, hidroviário, ferroviário, metroviário e rodoviário, (ABNT, 2016).

5. Instrumentos de Planeamento no Âmbito do Ruído Ambeintal

5.1. Instrumentos de Planeamento em Portugal

Com a publicação do Regulamento Geral do Ruído (RGR) aprovado pelo decreto lei nº9/2007, foram adotados os novos indicadores de ruído europeus, sendo também estabelecido que todos os municípios deveriam elaborar mapas de ruído e de zonamento acústico para serem associados aos diferentes planos municipais do ordenamento do território. Os mapas de zonamento acústico têm como objetivo classificar e delimitar as zonas sensíveis e mistas, (APA, 2023).

Com a sobreposição dos mapas de ruído e da carta de classificação de zonas mistas e sensíveis é possível determinar locais que possam ultrapassar os valores limites estipulados na lei, o que torna necessário a elaboração de um plano de medidas para que os valores limites sejam respeitados, o denominado Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR), (APA, 2021a).

5.1.1. Mapa Municipal de Ruído

Mapa de ruído é “o descritor do ruído ambiente exterior, expresso pelos indicadores L_{den} e L_n , traçado em documento onde se representam as isófonas e as áreas por elas delimitadas às quais corresponde uma determinada classe de valores expressos em dB(A)” conforme ilustrado na figura 27, (RGR, 2007).

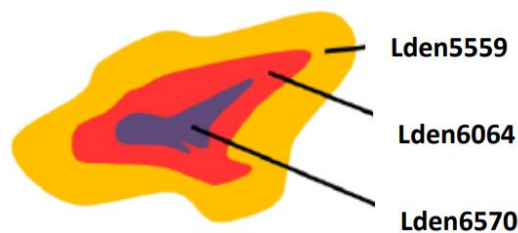


Figura 27: Representação espacial dos intervalos de níveis sonoros através de polígonos, (Antunes et al., 2023).

Os mapas de ruído resultam de modelos de simulação onde se efetua a caracterização das fontes ruidosas, e se realizam medições de acordo com as normas e se introduzem em *software* os dados recolhidos, gerando assim uma previsão de níveis sonoros com base nos valores medidos. São de grande importância pois ajudam a condicionar a ocupação futura e salvaguardar a situação presente em termos de ruído ambiente.

Os mapas de ruído são utilizados para auxiliar os municípios a avaliar a exposição ao ruído tendo em atenção o planeamento do território e servindo como base para elaboração de outros documentos de auxílio na vertente do ambiente, como os planos de ação para redução e prevenção da poluição sonora, (APA, 2023).

Os mapas de ruído desempenham um papel crucial na identificação da poluição sonora, servindo como ferramentas fundamentais para a gestão e planeamento do território. Ao fornecer uma representação visual das fontes de ruído e das zonas sensíveis, eles possibilitam a implementação de estratégias eficazes para a redução dos níveis sonoros, contribuindo assim para a qualidade de vida e o bem-estar da população, (Ventura, 2008).

Fica definido no RGR que as câmaras municipais devem elaborar os mapas de ruído com o objetivo de apoio aos planos diretores municipais e planos de urbanização. Devem ser seguidas as normas e técnicas específicas para a criação dos mapas e recolha dos dados acústicos.

A metodologia para calcular a avaliação do ruído recorre ao modelo de cálculo CNOSSOS-EU. Este método é fortemente recomendado e tende a harmonizar os cálculos a nível nacional dentro da União Europeia, (APA, 2023).

Abaixo, nas figuras 28 e 29 apresentam-se a título de exemplo os mapas de ruído do município do Porto para o indicador noturno (Ln) e para o indicador diurno-entardecer-noturno (Lden)



Figura 28: Mapa de ruído para o indicador Ln, cidade do Porto.

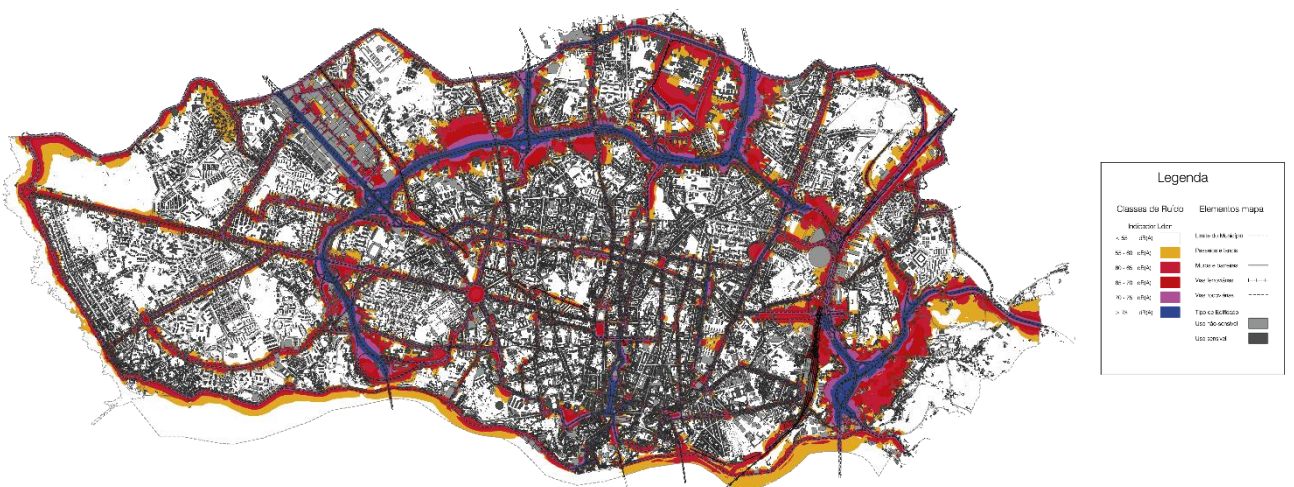


Figura 29: Mapa de ruído para o indicador Lden, cidade do Porto.

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

As Cartas de Zonamento Acústico estabelecem a divisão territorial de acordo com os níveis de ruído permitidos, determinando regras que orientam o uso do solo. Com base no uso atual e no previsto pela carta de ordenamento do PDM,

em conformidade com o RGR, o zonamento acústico classifica o solo em duas categorias: zonas sensíveis e zonas mistas, (Silva, 2012).

A carta de zonamento acústico atua então como um mapa do concelho, identificando as áreas sensíveis e mistas. Além das suas respectivas classificações deve ter em consideração a sua atual utilização. Um ponto importante a salientar é que no ordenamento do território, em zonas não edificadas, deve-se ter em consideração uma futura ocupação, sendo de grande importância evitar que áreas sensíveis criem conflito com grandes infra-estrutura de tráfego existente ou planeados, como também com outras fontes de ruído, (Carvalho & Rocha, 2008).

Abaixo na figura 30 apresenta-se a carta de zonamento acústico do município do Porto.

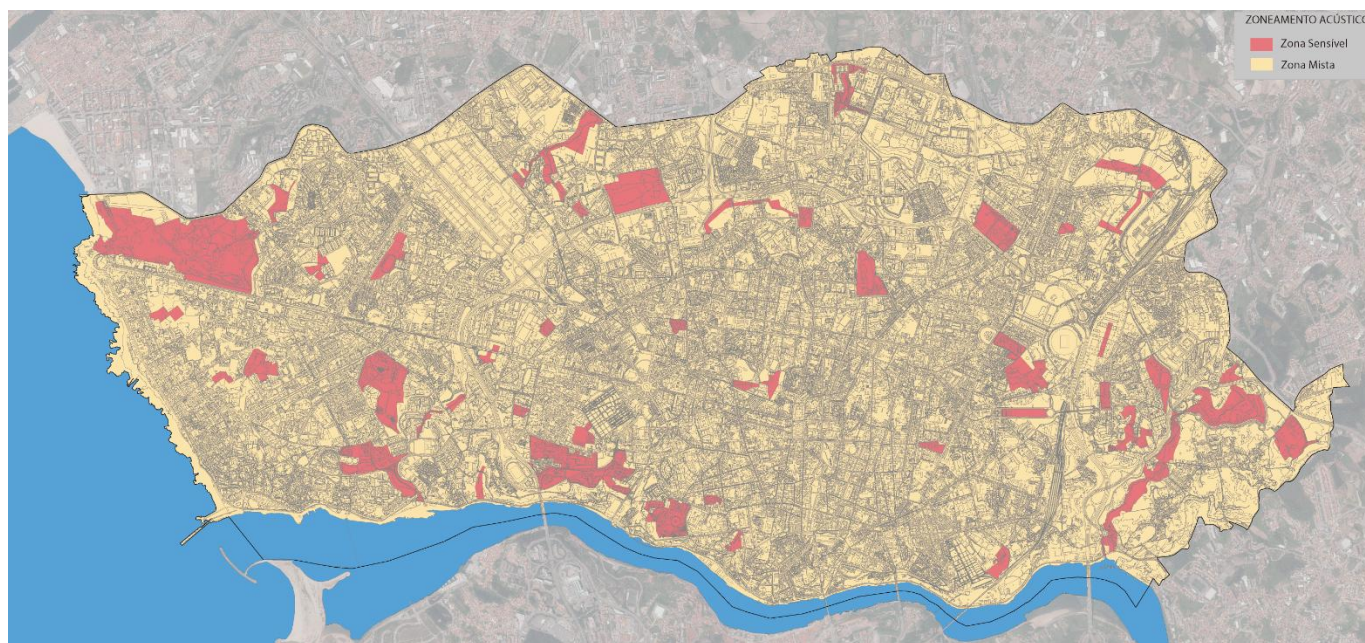


Figura 30: Carta de Zonamento Acústico da cidade do Porto

5.1.3 Mapa de Conflito Acústico

Segundo Carvalho & Rocha (2008), zonas de conflito são as áreas geográficas em que os valores medidos de exposição sonora, representados por L_{den} ou L_n , estão acima dos valores limites regulamentados no RGR.

O mapa de conflito acústico consiste na sobreposição do mapa de ruído com o mapa de zonamento acústico, destacando-se as áreas em que os valores do

mapa de ruído são superiores aos valores limite constantes no mapa de zonamento. Existindo essas áreas que não respeitam os limites do zonamento, é necessário a elaboração de um Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR), (Silva, 2012).

Abaixo, nas figuras 31 e 32 apresentam-se os mapas de sobre-exposição ao ruído para os indicadores noturno (Ln) e diurno-entardecer-noturno (Lden) do município do Porto.

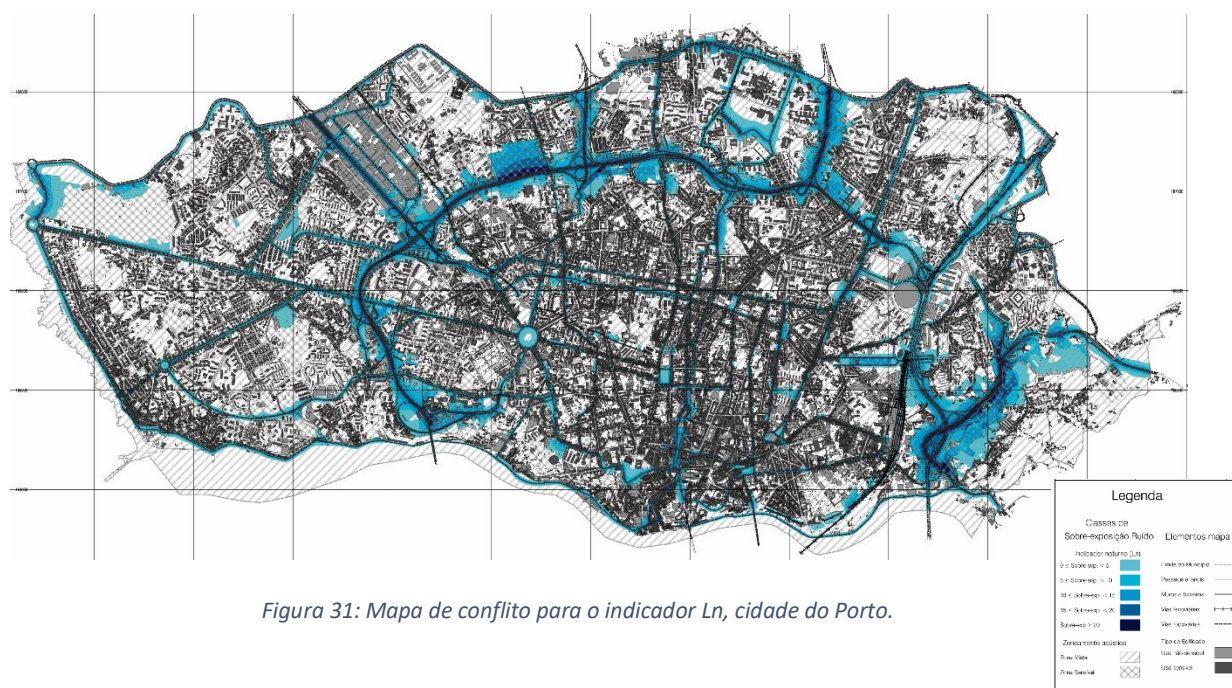


Figura 32: Mapa de conflito para o indicador Lden, cidade do Porto.

5.1.4 Plano Municipal de Redução de Ruído

O Plano Municipal de Redução de Ruído (PMRR) serve para estabelecer e implementar uma estratégia de redução de ruído ambiente desenvolvida com a participação de vários setores municipais, como o ambiente e o planeamento, com a cooperação externa de consultores e entidades gestoras de infraestruturas e ainda com a participação pública das partes interessadas, (Carvalho & Rocha, 2008).

Segundo o RGR devem constar nos planos municipais de redução de ruído, os seguintes elementos:

- a) Identificação das áreas onde é necessário reduzir o ruído ambiente exterior;
- b) Quantificação da redução global do ruído ambiente exterior relativa aos indicadores L_{den} e L_n ;
- c) Quantificação, para cada fonte de ruído, da redução necessária relativa aos indicadores L_{den} e L_n e identificação das entidades responsáveis pela execução de medidas de redução de ruído;
- d) Indicação de medidas de redução de ruído e respectiva eficácia quando a entidade responsável pela sua execução é o município.

Segundo Carvalho & Rocha (2008) para ser criado um PMRR pressupõe que existam zonas de conflito acústico, sendo de facto necessária a sua elaboração somente quando num mapa de ruído, após sobreposição com o mapa de zonamento forem detectadas áreas em que será necessária alguma intervenção para adequação dos valores de ruído ambiental produzidos.

5.2. Instrumentos de Planeamento no Brasil

Não foi encontrada legislação federal ou normas técnicas que tornem obrigatória a criação de instrumentos de planeamento no âmbito do ruído ambiental como os vistos na legislação de Portugal, como mapas de ruído, mapa de zonamento, mapas de conflito e o PMRR. O que se consegue perceber foi

que há alguns anos, os municípios começaram a fazer legislações distintas que começam a exigir a elaboração de mapas de ruído nas cidades para auxiliar os planos diretores de ordenamento do território, principalmente nas zonas urbanas e industriais.

5.2.1 Mapas de Ruído

Apesar das poucas iniciativas desenvolvidas por prefeituras para registrar o ruído das cidades como um todo, muitos municípios, principalmente em capitais do Nordeste e Sul do país, já mapearam bairros específicos e ruas isoladas.

A cidade de São Paulo publicou uma lei no ano de 2016 que trata da elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo, que define como prazo final de entrega dos mapas o ano de 2029. Também foi aprovada lei em 2022 que trata da criação do mapa de ruído para a cidade do Rio de Janeiro que previu a entrega do material em 5 anos.

Na tabela 9, abaixo, mostra-se um levantamento de alguns mapas de ruído elaborados entre 2002 e 2019 no Brasil, resultando maioritariamente de iniciativas pontuais e não duma estratégia federal global.

Tabela 9: Quadro de mapas de ruído criados no Brasil entre 2002 e 2019, (Brasileiro et al., 2019).

Ano	Cidade / Estado	Área Mapeada	Autor
2002	Belém, Pará	Cidade completa	Prefeitura Municipal de Belém
2003	Porto Alegre, Rio Grande do Sul	Fração da cidade	Dissertação Mestrado
2005	Aracajú, Sergipe	Bairro da cidade	Dissertação Mestrado
2007	Salvador, Bahia	Impacto construção metro	Dissertação Mestrado
2008	Florianópolis, Santa Catarina	Área central da cidade	Dissertação Mestrado
2009	Santa Maria, Rio Grande do Sul	Rodovia da cidade	Dissertação Mestrado
2010	São José dos Campos, São Paulo	Impacto sonoro do Aeroporto	Dissertação Mestrado
2010	Curitiba, Paraná	Região central da cidade	Iniciativa Acadêmica
2011	Chapecó, Santa Catarina	Análise do ruído de tráfego da cidade	Dissertação Mestrado
2012	Fortaleza, Ceará	Cidade completa	Prefeitura Municipal de Fortaleza e SEUMA
2012	Salvador, Bahia	Bairro da cidade	Dissertação Mestrado
2013	Brasília, Distrito Federal	Principais rodovias da cidade	Instituto Brasília Ambiental
2013	Natal, Rio Grande do Norte	Bairro da cidade	Tese Doutorado

2016	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Bairros da cidade	Iniciativa Acadêmica
2017	João Pessoa, Paraíba	Bairro da cidade	Dissertação Mestrado
2018	Natal, Rio Grande do Norte	Cidade completa	Tese Doutorado
2018	Sinop/Mato Grosso	Área central da cidade	Dissertação Mestrado
2018	Arapiraca, Alagoas	Principal avenida do centro da cidade	Iniciativa Acadêmica
2018	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Bairro da cidade	Iniciativa Acadêmica
2018	Rio de Janeiro, Rio de Janeiro	Impacto sonoro do Aeroporto	Iniciativa Acadêmica
2018	São Carlos, São Paulo	Impacto da via férrea na cidade	Iniciativa Acadêmica
2018	Águas Claras, Distrito Federal	Bairro da cidade	Iniciativa Acadêmica
2018	São Luís, Maranhão	Cidade completa	Iniciativa Acadêmica
2019	Cárceres, Mato Grosso	Cidade completa	Iniciativa Acadêmica
2019	João Pessoa, Paraíba	Bairro da cidade	Iniciativa Acadêmica
2019	João Pessoa, Paraíba	Bairro da cidade	Iniciativa Acadêmica

A título de exemplo, apresenta-se o caso de Fortaleza, que disponibiliza mapas acústicos de alguns pontos de interesse da cidade que possuem valores elevados de ruído ambiental. Tal é o caso da envolvente de uma estação de autocarros (figura 33) e da área de construção de um viaduto, onde se podem ver valores de L_{noite} e L_{dia} para os períodos de antes da construção do viaduto (figura 34) e depois de sua construção (figura 35).



Figura 33: Mapas de ruído para os indicadores L_{noite} e L_{dia} para uma área da cidade de Fortaleza

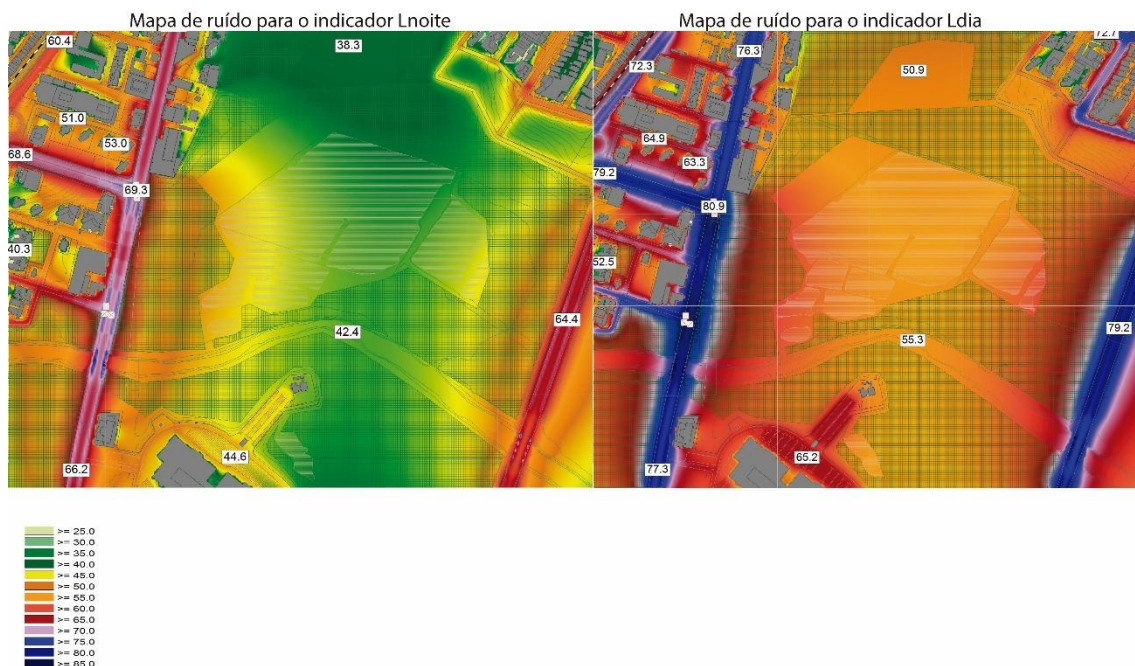


Figura 34: Mapas de ruído para os indicadores Lnoite e Ldia antes da construção do viaduto na cidade de Fortaleza

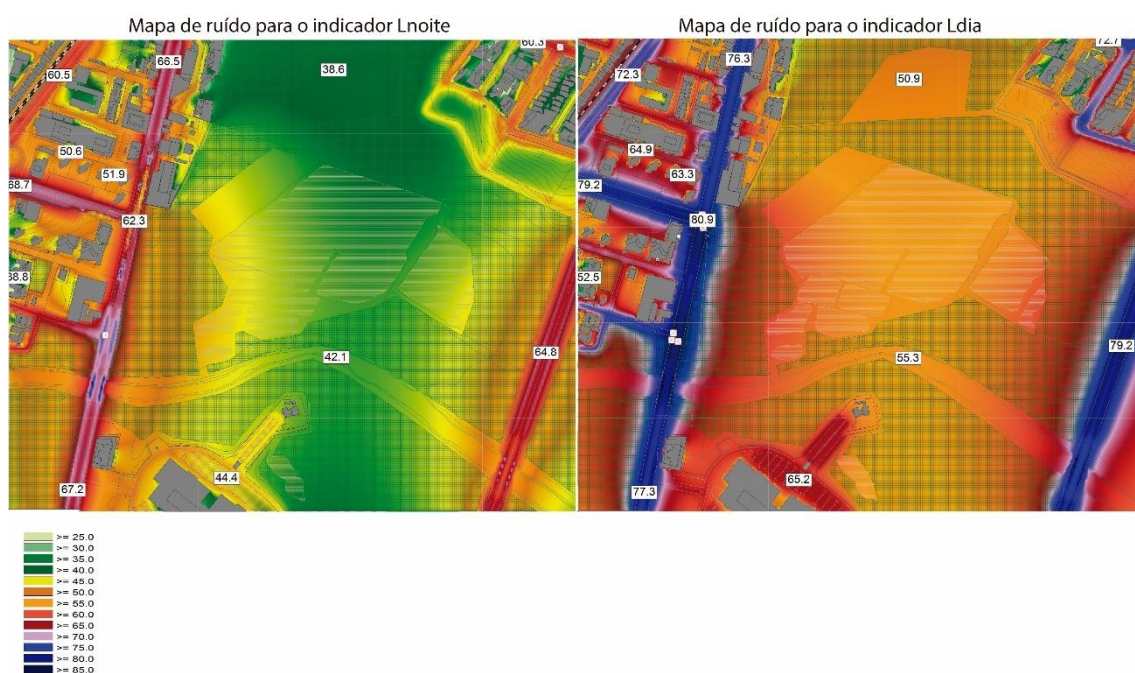


Figura 35: Mapas de ruído para os indicadores Lnoite e Ldia depois da construção do viaduto na cidade de Fortaleza

5.2.2 Mapa de Sensibilidade

Segundo Yanagiya (2021) os mapas de sensibilidade ao ruído definem o zonamento acústico de uma área, estabelecendo limites entre zonas com diferentes objetivos de qualidade sonora. Esse zonamento considera a sensibilidade de cada área ao ruído, classificando-as em categorias como:

- **Residencial:** Prioriza o silêncio e o descanso, com limites de ruído mais restritos.
- **Comercial:** Permite níveis de ruído moderados, adequados a atividades comerciais e de serviços.
- **Industrial:** Tolerância níveis de ruído mais elevados, considerando as atividades industriais e seus processos.
- **Lazer:** Admite níveis de ruído mais altos, como em áreas de entretenimento e eventos.
- **Áreas Sensíveis:** Exige níveis de ruído extremamente baixos, como em hospitais, escolas e bibliotecas, onde o silêncio é fundamental.
- **Zonas Tranquilas:** Busca preservar o silêncio e a tranquilidade, como em parques, reservas naturais e áreas de preservação.

A cidade de São Paulo está a ser pioneira na elaboração do mapa de sensibilidade no Brasil, e inicialmente foi elaborado um mapa para adequar e distribuir os setores da operação urbana centro às áreas acústicas acima descritas. Foi embasada no zonamento urbano da cidade e na inspeção visual da região verificando os usos reais do solo predominantes em cada área. A fragmentação excessiva das áreas acústicas foi evitada englobando pequenas regiões isoladas identificadas com algum objetivo diferente de qualidade nas regiões maiores que a contornam (figura 36), (INAD, 2019).

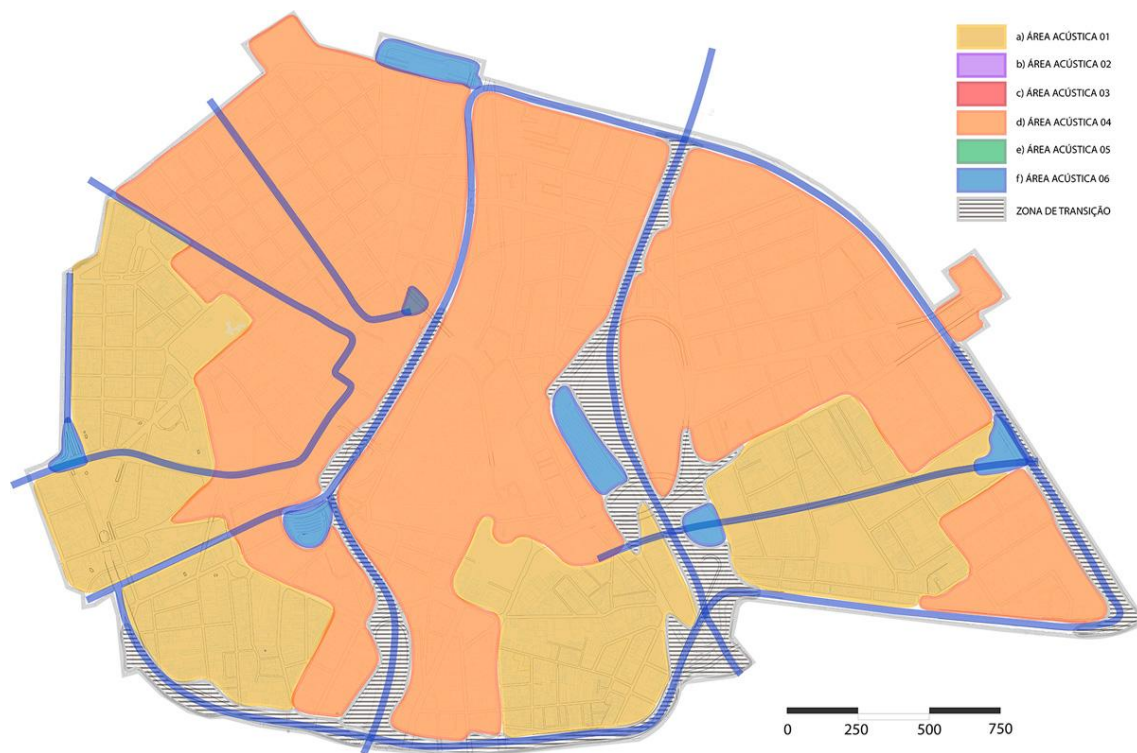


Figura 36: Mapa de Sensibilidade da área central urbana da cidade de São Paulo.

As áreas de sensibilidade consideradas neste mapa são as seguintes:

- **Área Acústica 01:** Setores do território com predominância de uso residencial, incluindo regiões complementares à habitabilidade.
- **Área Acústica 02:** Setores destinados ao uso de atividades industriais.
- **Área Acústica 03:** Setores com predominância do uso por atividades recreativas ao ar livre.
- **Área Acústica 04:** Setores com predominância do uso por atividades comerciais, incluindo suas áreas complementares, como estacionamentos.
- **Área Acústica 05:** Setores com predominância do uso por atividades institucionais, saúde, educacional e cultural que requerem em seu exterior proteção contra a poluição sonora.
- **Área Acústica 06:** Setores do território afetados por sistemas e infraestruturas de transporte e equipamentos públicos.

- **Área Acústica 07:** Espaços naturais que requerem proteção especial contra a poluição sonora.
- **Zonas de Transição (ZT):** Setores do território demarcados entre as áreas acústicas cujos objetivos de qualidade diferem em mais de 5dB e áreas adjacentes aos setores demarcados.

5.2.3 Mapa de Conflito

O Mapa de Conflito é uma ferramenta essencial na gestão do ruído urbano, resultante da sobreposição do Mapa de Ruídos com o Mapa de Sensibilidade Acústica. Essa sobreposição revela as áreas onde os níveis de ruído excedem os limites estabelecidos para cada zona de sensibilidade, identificando os chamados "pontos quentes" de ruído.

Ao sobrepor os dois mapas, o Mapa de Conflito destaca as áreas onde há uma discrepância entre os níveis de ruído existentes e os limites estabelecidos. Essas áreas, os "pontos quentes", indicam onde o ruído representa um problema significativo e requer ações de mitigação (figura 37), (Yanagiya, 2021).



Figura 37: Representação de mapa de conflito

6. Considerações Finais

Este estudo visou comparar as normas, métodos de controle e instrumentos de planeamento do ruído ambiental aplicados em Portugal e no Brasil, evidenciando as diferenças e similaridades entre os dois contextos. Através da análise das legislações e práticas adotadas em ambos os países, foi possível constatar que Portugal, por estar inserido no contexto da União Europeia, apresenta uma legislação mais consolidada e um planeamento mais estruturado em relação à gestão do ruído ambiental.

No Brasil, observou-se que a temática do ruído ambiental ainda está em fase de desenvolvimento, com poucos municípios possuindo mapas de ruído e planos de redução de ruídos. Contudo, nos últimos anos, tem havido um crescente interesse dos gestores públicos na implementação de políticas voltadas para a gestão do ruído urbano, indicando um avanço promissor na área.

Diante dos resultados obtidos, é possível afirmar que a legislação e os métodos adotados em Portugal podem servir como referência para o Brasil, contribuindo para o aprimoramento das políticas públicas e para a melhoria da qualidade de vida da população. É essencial que haja um esforço conjunto entre gestores, pesquisadores e sociedade civil para a criação de normas mais rigorosas e para a ampliação do uso de instrumentos de monitoramento e controle do ruído ambiental.

Por fim, este estudo reforça a necessidade de novas pesquisas sobre a eficácia das medidas de controle do ruído e sobre os impactos do ruído ambiente na saúde e bem-estar da população. A evolução do planeamento urbano, aliada à implementação de medidas mais eficazes de gestão do ruído, é fundamental para garantir cidades mais sustentáveis e confortáveis para seus habitantes.

7. Referências Bibliográficas

- ABNT. (2016). *Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistema de transportes - Parte 1: Aspectos Gerais*.
- ABNT. (2019). *Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas- Aplicação de uso geral*. www.abnt.org.br
- Almeida, R. (2017, February 19). *Zona redução velocidade*. <https://www.comumonline.com/2017/02/braga-implementa-zonas-30/>
- Antunes, C., Baltazar, L., & Cunha, S. (2023). *Mapas municipais de ruído - Modelo e formato de dados*. <https://nbox.apambiente.pt/s/dDitbaM9GSF42Zy>.
- APA. (2021a). *Instrumentos de gestão*. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/instrumentos-de-gestao>
- APA. (2021b). *Planeamento Municipal*. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/planeamento-municipal>
- APA. (2023). *Diretrizes para elaboração de mapas de ruído - métodos CNOSSOS-EU*.
- APA. (2024, March 20). *Ruído ambiente*. <https://Apambiente.Pt/Ar-e-Ruido/Ruido-Ambiente>.
- Bessa, J. C. de A. (2015). *Mapas de ruído para a cidade de Manaus-AM - Proposta de metodologia e princípios gerais*.
- Bistafa, S. (2018). *Acústica aplicada ao controle de ruído (3ª)*.
- Carvalho, A. P. O. de, & Rocha, C. (2008). *Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*. https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_Ar_Ruido/Ruido/Notas%20t%C3%A9cnicas%20e%20guias%20de%20Ru%C3%ADdo/DiretrizesPMRR.pdf
- European Environmental Agency [EEA]. (2020). *Environmental noise in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-noise-in-europe>
- Gerges, S. N. Y. (1992). *Ruído: Fundamentos e Controle*.
- Gonçalves, R. P. R. (2014). *Atenuação Sonora de Barreiras Acústicas*. Universidade de Coimbra.
- INAD. (2019). *Mapa de Sensibilidade*. <https://www.mapaderuidosp.org.br/mapa-de-ruído/mapa-de-sensibilidade/>
- ISOLTOP. (2020). *barreira acustica viaduto*. <https://isoltop.com.br/materiais-acusticos/>
- Nagem, M. P. (2004). *Mapeamento e análise do Ruído Ambiental*. Universidade Estadual de Campinas.
- National Association of City Transportation Officials [NACTO]. (2013). *Urban Street Design Guide*. <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/curb-extensions/pinchpoint/>
- National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2024, February 16). *Understand Noise Exposure*. <https://www.cdc.gov/niosh/noise/prevent/understand.html>

- Nunes, M. (2006). *Uma breve visão sobre o ruído urbano*.
http://www.faacz.com.br/revistaeletronica/links/edicoes/2005_02/edutec_marcus_ruido_2005_2.pdf
- PCE Instruments. (2025). *Sonômetro com calibrador acústico PCE-322-SC43*. https://www.pce-instruments.com/portugues/instrumento-de-medic%C3%A3o/medidor/son%C3%B4metro-pce-instruments-son%C3%B4metro-com-calibrador-ac%C3%Bastico-pce-322-sc43-det_6059020.htm
- Regulamento Geral do Ruído [RGR]. (2007). *Diário da República, 1ª série - Nº 12 Decreto-Lei nº 9/2007*.
- RGR, Diário da República n.º 12/2007, Série I de 2007-01-17 389 (2007).
<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/9-2007-522807>
- Seco, Á. J. da M., Ribeiro, A. S. N., Macedo, J. M. G., & Silva, A. M. C. B. (2008). *Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária - Acalmia de tráfego*. www.inir.pt.
- Silva, L. T. (2012). *Qualidade do Ambiente Construído*.
- Silva, L. T., Silva, J. F. Da, & Mendes, J. F. G. (2002). *Tráfego Rodoviário e Ruído Ambiental: O Caso dum Parque Urbano*.
- Skirrow, P. J. (2009, April 13). *Ficheiro:Acoustic weighting curves (1).svg*.
[https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Acoustic_weighting_curves_\(1\).svg](https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Acoustic_weighting_curves_(1).svg)
- Ventura, J. (2008). *Modelação do ruído ambiente no Campus da ESTG*.
- Yanagiya, T. K. (2021). *Métodos para redução do ruído urbano nas cidades brasileiras*.