

Estudo de minimização do ruído no Jardim Botânico do Porto

Tiago Jorge de Oliveira Tavares

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

FEVEREIRO DE 2020

“Behind every successful man there’s a lot of unsuccessful years.”

Bob Brown

Agradecimentos

Ao Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho a minha sincera gratidão pela orientação evidenciada ao longo do meu percurso, tanto na unidade curricular de Acústica Ambiental como no decorrer deste trabalho académico, pela disponibilidade e compreensão demonstrada e pela ética de trabalho inculcada.

À Professora Doutora Cecília Rocha pela cooperação e disponibilidade proporcionada no decorrer deste trabalho académico, pelo conhecimento transmitido e compreensão manifestada.

Queria também deixar uma palavra de gratidão para com o Engenheiro Eduardo Costa e o Sr. Manuel Guimarães pela ajuda e contributo para a realização deste trabalho académico.

Não poderia deixar de agradecer e demonstrar eterna gratidão para com os meus pais que sempre lutaram para que eu atingisse os meus objetivos, por serem um exemplo e, acima de tudo, pela compreensão demonstrada ao longo do meu percurso académico, sem eles este trabalho não seria possível.

Aos meus amigos mais próximos David Torres, Duarte de Oliveira e Tomás Bernardo um obrigado pelo auxílio, por todos os bons momentos e pelo apoio demonstrado nos momentos de maior necessidade. Aos meus dois “anjinhos da guarda”, Inês Frada e Olga Menezes, pela amizade, apoio e orientação, assim como todo o carinho e brincadeira revelados ao longo dos anos.

Queria também deixar um obrigado a todos os meus colegas e professores que de forma direta ou indireta tornaram este trabalho possível, em especial a todas as pessoas com quem privei na Sala de Ambiente.

Um reconhecimento também ao Arquiteto Paisagista Paulo Farinha Marques e a Arquiteta Paisagista Joana Tinoco pela total disponibilidade dada ao longo deste trabalho, por toda a informação transmitida e disponibilidade demonstrada.

Resumo

Com o crescente aumento do ruído citadino, nomeadamente o ruído proveniente do tráfego rodoviário, existe uma contínua e evidente degradação da qualidade acústica das cidades, tornando os locais com forte componente vegetal e arbórea, como é o caso do Jardim Botânico do Porto, locais prediletos para escape ao típico ruído característico de grandes centros urbanos. Como tal, mesmo estes refúgios têm vindo a ser afetados e existe uma crescente necessidade de intervenção, tanto a nível acústico como visual, no isolamento sonoro destes locais, de modo a proporcionar uma melhor envolvência com a natureza ao mesmo tempo que cria um efeito tampão face à realidade envolvente.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho passou pela análise do possível melhoramento acústico do Jardim Botânico do Porto. Com o intuito de abordar a temática proposta, foram recolhidos dados acústicos de modo a caracterizar a situação atual. Foi analisado o fluxo de tráfego rodoviário presente na Via de Cintura Interna (VCI) e nas vias de acesso próximas do Jardim Botânico, nomeadamente a sua contagem em diferentes alturas do dia e do ano, de modo a ter um panorama geral sobre a quantidade de veículos motorizados responsáveis pela emissão do ruído.

Adicionalmente, foi analisado o ruído presente em diferentes jardins da cidade do Porto, assim como em diferentes parques naturais de forma a ter um ponto de referência dos parâmetros acústicos sobre os resultados obtidos no jardim em estudo, que complementassem as exigências legais.

A abordagem à problemática em estudo consistiu em dois distintos focos de interesse. Numa primeira instância foram realizadas medições *in situ*, de modo a ter uma melhor perceção da real situação da paisagem sonora do Jardim Botânico do Porto, em termos de parâmetros acústicos. Numa abordagem complementar, foram elaborados questionários, destinado aos utilizadores do Jardim Botânico, que foram questionados de forma pessoal e anónima sobre a sua experiência subjetiva no jardim, nomeadamente quanto à forma como o ruído o influencia, que zonas seriam mais sensíveis, qual o impacto do ruído nas diferentes atividades de lazer a que este jardim é destinado e que possíveis alterações fariam no mesmo.

De um universo de 50 inquiridos, os resultados dos inquéritos sócio-acústicos demonstraram que os visitantes conseguem, até certo ponto abstrair-se do ruído, tomando quase como dado adquirido a existência do mesmo no local em questão. De forma global, 40 % dos inquiridos identificaram o ruído rodoviário como um dos sons mais perceptíveis na paisagem sonora, 50 % concordou que era uma situação expectável ouvir ruído rodoviário e apenas 35 % se sentiram incomodados com o mesmo. Cerca de 64% achou o jardim *tranquilo*. Por fim, 52 % classificou acusticamente o jardim como *suficiente* ou *bom* e 95 % classificaram globalmente o jardim como *suficiente* ou *bom*, evidenciando que, embora o ruído seja um fator preponderante, existem outros fatores mais valorizados na constituição global do Jardim Botânico e na perceção que têm do mesmo.

Para uma caracterização mais exata de possíveis medidas mitigadoras do ruído no interior do jardim foi utilizado o *software CADNA-A*, para criar um mapa digital de ruído em que fosse possível recriar dos resultados obtidos nas medições *in situ*. Com a validação do *software* e consequente criação do mapa de ruído que se aproximasse da real situação do jardim, foram implementadas diferentes formas de mitigação de ruído dentro do jardim, passando todas elas pela implementação de barreiras acústicas.

Foram identificadas possíveis reduções de 1 a 14 dB(A) no interior do jardim pelo uso de alguns tipos de barreiras acústicas que podem fazer diminuir o nível de ruído no seu interior, dos atuais 53 a 73 dB(A) para cerca de 52 a 68 dB(A), mesmo bem acima do limite legal admitido, considerando a sua classificação como zona sensível.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído, Jardim, Barreiras Acústicas, Ambiente, Cadna-A.

Abstract

With the increasing of city noise, namely the traffic noise, there is a continuous and evident degradation of the acoustic quality of cities, making those places with a strong vegetal and arboreal component, such as the Oporto Botanical Garden, good places to escape the typical noise characteristics of a large urban center. As such, there is a growing need for both acoustic and visual intervention in the isolation of these sites in order to provide a better involvement with nature while creating a buffer effect against the surrounding reality.

The focus of the present work was the acoustic improvement of the Oporto Botanical Garden. In order to address the proposed theme, data were collected in order to characterize the current situation. The characteristics of the road traffic on the Oporto internal beltway was analyzed to get an overview of how many motor vehicles are responsible of that noise. Using the existing literature, the noise present in different gardens of the city of Porto was analyzed, as well as in different natural parks in order to have a control point of the acoustic parameters on the results obtained in the garden under study.

The approach to the problem under study consisted of two distinct focuses of interest. *In situ* measurements were made to have a perception of the real soundscape situation of the Botanical Garden. A subjective analysis was also done where questionnaires were elaborated to be answered by the users of the Botanical Garden. These were personally and anonymously questioned about their experience in the garden.

From a universe of 50 respondents, the results of socio-acoustic surveys showed that visitors are able, to a certain extent, to abstract from noise, taking for granted the existence of the noise in the place in question. Overall, 40% of respondents identified road noise as one of the most noticeable sounds in the soundscape, 50% agreed that it was an expectable situation to hear road noise and only 35% felt uncomfortable with it. About 64% think the garden is peaceful. Finally, 52% classified the garden acoustically as sufficient or good and 95% globally classified the garden as sufficient or good, showing that, although noise is a major factor, there are other factors more valued in the overall constitution of the Botanical Garden.

A computational analysis was also done using the *CADNA-A* software to create a digital noise map in which it was possible to recreate the results obtained in the *in situ* measurements. With the validation of the software and the consequent creation of a noise map that approximates the real situation of the garden, different forms of noise mitigation inside the garden were tested, all of them through the implementation of acoustic barriers.

It was found that a decrease of 1 to 14 dB(A) can be achieved by the use of some types of acoustic barriers that can lower the soundscape within the Botanical Garden from 52 to 73 dB(A) to about 52 to 68 dB(A).

KEYWORDS: Noise, Garden, Acoustic Barriers, Environment, CADNA-A.

Índice Geral

<i>Agradecimentos</i>	<i>i</i>
<i>Resumo</i>	<i>iii</i>
<i>Abstract</i>	<i>v</i>
1. Introdução	1
1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVO	1
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2. Conceitos e Definições	5
2.1. Definições	5
2.1.1. Som e ruído	5
2.1.2. Intensidade e potência sonora	7
2.1.3. Níveis.....	8
2.1.4. Frequência e banda de frequência	9
2.1.5. Curvas de ponderação	10
2.1.6. Análise do tempo.....	11
2.1.7. Consequências na saúde	12
2.2. Acústica de exteriores	12
2.2.1. Atenuação do som e propagação sonora ao ar livre	12
2.2.1.1. Introdução.....	12
2.2.1.2. Atenuação devido a divergência geométrica	13
2.2.1.3. Atenuação devido ao ar	13
2.2.1.4. Atenuação devido à absorção do solo	14
2.2.1.5. Atenuação devido ao gradiente de temperatura e velocidade do vento.....	14
2.2.1.6. Atenuação devido a densa vegetação	15
2.2.1.7. Atenuação devido a edifícios	15
2.2.1.8. Atenuação devido ao nevoeiro e chuva.....	15
2.2.2. Ruído Rodoviário	16
2.2.3. Barreiras Acústicas.....	17
3. Estado da Arte	21
3.1. Paisagem acústica e percepção do utilizador	21
3.1.1. Porto	21
3.1.2. Hong Kong	24

3.1.2.	Brasil	24
3.1.3.	Itália.....	25
3.1.4.	Roterdão	26
3.1.5.	Nigéria	27
3.2.	Técnicas de mascaramento do ruído	28
3.3.	Disposição espacial	30
3.4.	Medidas de mitigação na fonte emissora	32
4.	Metodologia.....	35
4.1.	Normas e Procedimentos	35
4.1.1.	NP ISO 1996.....	35
4.1.2.	Intervalo de tempo de referência	35
4.1.3.	Indicadores	35
4.1.4.	Ponderação em frequência	36
4.1.5.	Intervalo de tempo relevantes	36
4.1.6.	Fontes sonoras e respetivas condições de funcionamento	36
4.1.7.	Condições de propagação	36
4.1.8.	Incertezas.....	36
4.2.	Processo de medição do ruído	36
4.3.	Parâmetros de análise	37
4.4.	Equipamento	38
4.4.1.	Sonómetro	38
4.4.2.	Microfone	39
4.4.3.	Calibrador	40
4.4.4.	Filtro	41
4.4.5.	Detetor	41
4.5.	Abordagem às medições <i>in situ</i>	42
4.5.1.	Equipamento.....	42
4.5.2.	Parâmetros de análise	42
4.5.3.	Procedimento.....	42
5.	Porto - A cidade e os espaços verdes	45
5.1.	História do Porto.....	45
5.2.	Organização territorial e caracterização social	47
5.3.	Via de Cintura Interna (VCI)	49
5.4.	O Porto e os espaços verdes.....	50
5.4.1.	Espaços verdes Urbanos e habitats urbanos	50

5.4.2. Jardim Botânico do Porto.....	53
6. Resultados - Medições	57
6.1. Introdução	57
6.2. Resultados	58
6.3. Análise de resultados	60
6.4. Comparação de resultados	64
6.5. Situação atual da barreira existente	66
7. Resultados - Percepção subjetiva	69
7.1. Inquéritos sócio-acústicos	69
7.2. Resultados	71
8. Medidas de Mitigação de Ruído	79
8.1. Simulações Computacionais	79
8.2. Melhoria da paisagem sonora interior através da introdução de sons naturais.....	91
8.3. Paisagem sonora artificial	91
9. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	93
9.1. Conclusões	93
9.2. Desenvolvimentos futuros	94
<i>Referências bibliográficas.....</i>	<i>97</i>

Índice figuras/quadros

Figura 2.1: Onda de condensação e rarefação produzida por um diapasão em vibração [8] ..5	5
Figura 2.2: Esquema de um ouvido humano [9].....6	6
Figura 2.3: Relação entre intensidade (I), a potência (W) e a pressão (p) [7]7	7
Figura 2.4: Caracterização do som no domínio da frequência. [11].....9	9
Figura 2.5: Exemplo de banda sonora de 1/1 e 1/3 de oitava para um mesmo ruído [7].....9	9
Figura 2.6: Curvas de ponderação para os filtros A, B, C e D [11].....11	11
Figura 2.7: Efeito da variação da temperatura na propagação das ondas sonoras, com diminuição da temperatura (a)) e aumento da mesma (b)) [7]14	14
Figura 2.8: Variação da velocidade do vento em função da altura [7]14	14
Figura 2.9: Espectro típico do ruído de tráfego de veículos ligeiros e pesados [11].....16	16
Figura 2.10: Ruído devido ao contacto pneu/pavimento, medido a 7,5 m por um veículo pesado a duas condições meteorológicas correntes [11].17	17
Figura 2.11: Esquema da barreira para o cálculo do número de Fresnel [7]18	18
Figura 2.12: Exemplo de uma medida contra o contorno lateral numa barreira finita. [7].....19	19
Figura 2.13: Exemplo de abertura numa barreira acústica [7].19	19
Figura 3.1: Classificação de diferentes fatores segundo a opinião dos inquiridos nos jardins de Nápoles e Milão [19].....26	26
Figura 3.2: Variação do indicador L_{A95} ao longo dos dias da semana nos diferentes jardins da cidade de Roterdão [21]27	27
Figura 3.3: Resultados da experiência 1, com ruído rodoviário de 55 dB (a) e ruído rodoviário de 75 dB (b) [23].....29	29
Figura 3.4: Resultados da experiência 2, com ruído rodoviário de 55 dB (a) e ruído rodoviário de 75 dB (b) [23].....30	30
Figura 3.5: Valores de L_{Aeq} exterior (linha contínua) e interior (linha tracejada) dos diferentes jardins em estudo [24]31	31
Figura 3.6: Exemplo de uma queda de água num jardim clássico chinês [24].....32	32
Figura 3.7: Potencial redução sonora possível [25].33	33
Figura 4.1: Esquema de uma cadeia de medição de um sonómetro não integrador [11].....39	39
Figura 4.2: Esquema de uma cadeia de medição de um sonómetro integrador [11]39	39
Figura 4.3: Exemplificação de utilização de um calibrador num sonómetro [33].....40	40
Figura 4.4: Relação entre o valor eficaz (RMS), o valor médio (Average) e o valor de pico (Peak) [34].....41	41
Figura 5.1: Ponte da Arrábida com ligação entre o Porto e Gaia [41].....46	46
Figura 5.2: Casa da Música do Porto [38]47	47
Figura 5.3: Vista panorâmica da Zona Ribeirinha da cidade do Porto, classificada como património mundial pela UNESCO [38].....47	47
Figura 5.4: Mapa com divisões NUTS de nível III em Portugal Continental [39].....48	48
Figura 5.5: Densidade Populacional da cidade do Porto [40].....48	48
Figura 5.6: Representação esquemática da Via de Cintura Interna. que circula o grande Porto e Vila Nova de Gaia [43].....49	49
Figura 5.7: Exemplo de proteção acústicas ao longo da VCI [44]49	49
Figura 5.8: Mapa da delimitação da cidade do Porto por zonas referentes a características dos espaços verdes. [46]51	51
Figura 5.9: Mapa com as diferentes zonas verdes da cidade do Porto [46].52	52

Figura 5.10: Mapa da diversidade de espécies presente nos diferentes jardins do Porto [46]	53
Figura 5.11: Entrada da casa pertencente à Quinta do Campo Alegre (esquerda) [49], e foto antiga do jardim principal (direita) [50]	53
Figura 5.12: Atual localização do Jardim Botânico do Porto, a vermelho a fronteira que delimita o Jardim Botânico [51]	54
Figura 5.13: Mapa atual do Jardim Botânico do Porto [52]	55
Figura 6.1: Mapa com a localização dos pontos de medição [54]	57
Figura 6.2: Fotografia aérea do Jardim Botânico do Porto com representação dos quatro pontos de medição [54]	59
Figura 6.3: Representação do espetro de frequência por terço de oitava das medições realizadas nos diferentes pontos de amostragem.	61
Figura 6.4: Representação do espetro de frequência por terço de oitava e ponderado com filtro A das medições realizadas nos diferentes pontos de amostragem.	61
Figura 6.5: Possível fonte de ruído mecânico da frequência dos 800 Hz, quadrado amarelo e comparação de proximidade com o ponto de medição 1, ponto vermelho. (55)	62
Figura 6.6: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e conseqüente cálculo dos valores médios.	63
Figura 6.7: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e conseqüente cálculo dos valores médios.	63
Figura 6.8: Lado perfurado da barreira virado para a VCI (esquerda) e composição interior da barreira em lâ mineral (direita) [Foto do Autor]	66
Figura 6.9: Visualização parcial de um veículo pesado e um ligeiro de mercadorias (a vermelho) que circula na VCI, não existindo um bloqueio visual efetivo por parte da barreira, (fotografia tirada no ponto de medição nº 6 [foto do autor]	67
Figura 6.10: Mapa do Jardim Botânico e representação dos pontos de medição. [52]	68
Figura 7.1: Distribuição quanto ao género dos inquiridos do Jardim Botânico do Porto.	71
Figura 7.2: Distribuição da faixa etária dos inquiridos do Jardim Botânico do Porto.	71
Figura 7.3: Resultados da questão nº 5, relativa a uma única possível alteração no Jardim Botânico.	72
Figura 7.5: Resultados questão nº 7, relativa ao aspeto que consideram ser mais importante no Jardim Botânico.	72
Figura 7.4: Resultados da questão nº6, relativa ao motivo da visita ao Jardim Botânico.	72
Figura 7.6: Resultados da questão nº 8, referente a identificar dois sons audíveis.	73
Figura 7.7: Resultados da questão nº 9, referente a se são esperados os sons ouvidos.	74
Figura 7.8: Resultados da questão nº 10, referente a se gosto destes sons.	75
Figura 7.9: Resultados da questão nº 11, referente a incomodidade do volume	75
Figura 7.10: Resultados da questão nº 12, referente a se considero o jardim acusticamente agradável.	75
Figura 7.11: Resultados da questão nº 13, referente a tranquilidade do jardim.	76
Figura 7.12: Resultados da questão nº 14, referente à avaliação acústica do jardim por parte dos inquiridos.	76
Figura 7.13: Resultados da questão nº 15, referente à avaliação global do jardim por parte dos inquiridos.	77
Figura 8.1: Simulação dos valores de L_{Aeq} Tipo 0, mapa da paisagem sonora atual do Jardim Botânico do Porto. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira atual e a preto os edifício.	80

Figura 8.2: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira tipo A. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.	81
Figura 8.3: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo A.	82
Figura 8.4: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira tipo B. Barreira exterior (B1) absorvente com 4 m de altura e barreiras interiores (B2) absorventes com 2,5 m de altura. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.	83
Figura 8.5: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo B.	84
Figura 8.6: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira Tipo C, em que é apresentada uma barreira exterior com 5 m de altura. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.	85
Figura 8.7: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo C.	86
Figura 8.8: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira Tipo D, em que é apresentada uma barreira exterior em zig-zag com 3,7 m de altura com paredes de betão e acrílico. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.	87
Figura 8.9: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo D.	88
Figura 8.10: Pormenor do formato da barreira em que está representado o acrílico (D1), e o muro de betão (D2).	89
Figura 8.11: Render ilustrativo de um possível formato de uma barreira acústica do Jardim Botânico do Porto. [Foto do autor]	89
Figura 8.12: Visitantes parados sob um altifalante suspenso numa árvore. [62]	92

Índice de quadros

Quadro 2.1: Valores numéricos das ponderações da curva A para bandas de frequência de 1/1 de oitava na gama do audível [7]	11
Quadro 2.2: Coeficientes de atenuação atmosféricas em dB/km [7]	13
Quadro 2.3: Atenuação da vegetação em função da distância percorrida pelo som [7]	15
Quadro 3.1: Valores referentes à inteligibilidade da palavra e consequente diferença face ao ruído de fundo [16].	22
Quadro 3.2: Proposta de classificação acústica [16].	22
Quadro 3.3: Classificação dos diversos jardins do Porto, analisados segundo o novo critério proposto [16].	22
Quadro 3.4: Proposta de escala para classificação de jardins (CJ) urbanos [16].....	23
Quadro 3.5: Valores numéricos dos parâmetros medidos, assim como a classificação acústica, numérica (CJ) dos jardins em estudo [16]	23
Quadro 3.6: Valores médios de L_{Aeq} medidos nos diferentes jardins e distância relativa ao centro da cidade de Curitiba [18]	25
Quadro 3.7: Nível sonoro dos vários indicadores utilizados nas medições nos diferentes parques em Roterdão [21]	26
Quadro 3.8: Medição do nível sonoro e avaliação subjetiva dos utilizadores [21]	27
Quadro 3.9: Nível sonoro máximo recomendado em jardins urbanos [22]	28
Quadro 3.11: L_{Aeq} e parâmetros estatísticos dos níveis de pressão sonora do tráfego rodoviário e de diferentes estímulos sonoros produzidos por ação da água [23]	29
Quadro 3.11: Redução sonora devido a pavimentos de camada fina e dupla em zonas urbanas e rurais [25]	33
Quadro 3.12: Redução sonora possível devido à imposição de limites de velocidade e redução de tráfego [25]	34
Quadro 3.13: Possíveis opções e medidas possíveis de ser implementadas e potencial redução sonora máxima [25]	34
Quadro 4.1: Parâmetros de análise de ruído utilizado em medições [27]	38
Quadro 4.2: Constantes de tempo utilizadas pelos sonómetros e suas definições [35]	42
Quadro 5.1: Média diária de veículos que atravessam o segmento Ponte da Arrábida/Nó Bessa Leite de 2014 a 2015 [45]	50
Quadro 6.1: Coordenadas dos pontos de medição do Jardim Botânico do Porto (54)	58
Quadro 6.2.: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.....	58
Quadro 6.3: Valores de L_{Amax} e L_{Amin} obtidos das medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.	59
Quadro 6.4: Valores obtidos do nível de pressão sonora, por banda de frequência em 1/3 de oitava e respetiva ponderação utilizando o filtro (A).	60
Quadro 6.5: Comparação dos resultados dos pontos de medição 1 e 3 do Jardim Botânico do Porto e consequentes diferenças.....	64
Quadro 6.6: Valores de L_{Aeq} interior médios de diferentes jardins da cidade do Porto [15]....	64
Quadro 6.7: Valores de L_{Aeq} interior médios de diferentes jardins de Curitiba [18]	65
Quadro 6.8: Valores de L_{Aeq} interior médios de diferentes jardins de Roterdão [21].....	65
Quadro 6.9.: Valores limite de referência do L_{Aeq} de diferentes Países e Organizações [22]	66
Quadro 6.10: Coordenadas dos pontos de medição do Jardim Botânico do Porto.	67

Quadro 6.11: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.....	67
Quadro 7.1: Resultados dos inquiridos às questões nº 9 a 13.....	74
Quadro 8.1: Comparação dos valores de L_{Aeq} obtidos na simulação da simulação Tipo 0 (situação atual) e os resultados reais medidos.....	80
Quadro 8.2: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo A, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 3,7 m, em comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual).....	82
Quadro 8.3: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo B, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 4 m, assim como introdução de barreiras absorventes (B2) no interior do jardim com 2,5 m de altura e consequente comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual).....	84
Quadro 8.4: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo C, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 5 m, em comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual)	86
Quadro 8.5: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo D, em que é apresentada uma barreira em zig-zag alternando entre betão e acrílico e consequente comparação com os valores de L_{Aeq} da simulação Tipo 0 (situação atual).	88
Quadro 8.6: Resumo dos valores de ΔLA , que expressa a diferença entra os resultados da simulação Tipo 0 (situação atual) e os resultados das alternativas testadas (Tipo A, B, C e D).	90
Quadro 8.7: Diferentes materiais utilizados no "orçamento" de referência assim como custo por m^2 indicativos. [7].....	90
Quadro 8.8: Preço indicativo da implementação das Barreiras Acústicas de cada Tipo A, B e C.....	90

Índice de acrónimos

A' – Atenuação teórica da barreira

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

B – Densidade edifícios

B – Largura de banda

°C – Grau Celsius

c – Celeridade [m/s]

C.J. – Classificação acústica de jardins

Cadna-A – Computer Aided Noise Abatement

d – Distância [m]

d_B – Comprimento do caminho sonoro através de zonas de edifícios

dB – Decibel

dB(A) – Valor global da energia acústica do ruído filtrado por uma curva de ponderação tipo A

EC – *European Commission*

EPA – Environmental Protection Agency

EUA – Estados Unidos da América

F – Número de Fresnel

f_0 – Frequência central

f_1 – Limite inferior frequência

f_2 – Limite superior de frequência

G – Índice de direccionalidade

GPS – Global Positioning System / Sistema Global de Posicionamento

h – Hora

H_r – Humidade relativa

Hz – Hertz

J. B. – Jardim Botânico

I – Intensidade sonora [w/m^2]

I_0 – Valor de referência de intensidade sonora [$10^{-12} w/m^2$]

ISO – International Organization for Standardization / Organização Internacional de Normalização

k – Constante banda de frequências

K – Grau Kelvin

km – Quilómetro

L_1 – Nível sonoro excedido em 1 % do tempo de medição

L_5 – Nível sonoro excedido em 5 % do tempo de medição

L_{10} – Nível sonoro excedido em 10 % do tempo de medição

L_{50} – Nível sonoro excedido em 50 % do tempo de medição

L_{95} – Nível sonoro excedido em 95 % do tempo de medição

L_{A1} – Nível sonoro excedido em 1 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A5} – Nível sonoro excedido em 5 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A10} – Nível sonoro excedido em 10 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A50} – Nível sonoro excedido em 50 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A90} – Nível sonoro excedido em 90 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A95} – Nível sonoro excedido em 95 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{A99} – Nível sonoro excedido em 99 % do tempo de medição, com ponderação A

L_{Aeq} – Nível de pressão sonora contínuo equivalente com ponderação A

L_{Amax} – Nível máximo de pressão sonora ponderando A

L_{den} – Indicador de ruído diurno – entardecer – noturno [dB(A)]

L_{eq} – Nível de pressão sonora contínuo equivalente [dB]

L_I – Nível de intensidade sonora

L_{min} – Nível mínimo de pressão sonora, ponderando A

L_p – Nível de pressão sonora

L_{peak} – Nível de pressão sonora de pico [dB]

L_W – Nível de potência sonora

L_N – Nível de pressão sonora estatística

m – Metro

N - Norte

NP – Norma Portuguesa

p – Pressão

p_0 – Pressão sonora [2×10^5 Pa]

Q – Coeficiente de direccionalidade [ϕ, θ]

r –raio [m]

RGR – Regulamento Geral de Ruído

RMS – Root mean square / Pressão eficaz

s – Segundo

SEL – Sound exposure level / Nível de exposição sonora [dB]

T – Período [s]

T – Temperatura [K]

t – Tempo [s]

VCI – Via de Cintura Interna

w – Potência sonora

W – Watt

w° - Potência sonora linear [w/m]

w_0 – Valor de referência de potência sonora [10^{-12} w]

ΔL_A – Variação do nível de pressão sonora, ponderando A [dB(A)]

λ – Comprimento de onda [m]

ρ – Massa volúmica [kg/m^3]

1

Introdução

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVO

O ser humano tentou, ao longo da sua história, aglomerar as suas populações em grandes centros populacionais, tirando conseqüentemente diversos benefícios, nomeadamente económicos, sociais e tecnológicos. A ideia de “cidade” ficou mais acentuada durante o império romano, tendo continuado a evoluir ao longo do período medieval e mais tarde durante o renascimento. O termo “cidade” é então definido como um centro populacional com características específicas regionais e com uma condição social estabelecida, tendendo a representar uma unidade, um local planeado segundo uma lógica moldada pela situação económica, social e religiosa, que impulsiona o ser humano a superar as suas limitações culturais e biológicas [1].

Com o crescimento demográfico, a necessidade de transportar e movimentar pessoas e mercadorias originaram uma incessante busca por inovar, criando melhores transportes e melhores vias de acesso. Estas demandas criaram pressão na população a nível acústico. Tomando como caso histórico, provocado pelo melhoramento das vias romanas, com o aumento do tráfego rodoviário, existiu a necessidade de melhorar as pavimentações das estradas, uma vez que esse acréscimo, levou a um aumento do ruído provocado pelas rodas das carruagens, surgindo assim, as primeiras queixas dos habitantes relacionadas com ruído ambiental [2].

Num período em que existe uma sociedade em que “tempo é dinheiro”, a necessidade crescente de estar em vários locais, levou a um aumento colossal do número de meios de transporte e de viagens e ainda a um aumento das vias de comunicação, nomeadamente estradas (vias de cintura e autoestradas), que aliado à crescente industrialização imposta por uma sociedade cada vez mais direcionada para o capitalismo, criou uma pressão desmedida nos seus habitantes, afetando a sua qualidade de vida.

Muitas destas vias cruzam áreas com uma densidade populacional elevada, zonas sensíveis como escolas e hospitais, assim como zonas de lazer de diversos fins. Conseqüentemente, o aumento significativo de veículos levantou diversos problemas, tanto a nível ambiental como a nível fisiológico e psicológico. Nos últimos anos, com o avanço dos estudos, começaram a ser feitas associações de diversos efeitos negativos no organismo humano com o ruído urbano, levando a consciencialização de diferentes perturbações, indiferentes à idade do individuo, conduzindo a uma maior incidência de doenças cardiovasculares, perturbações de sono, stress e redução do desempenho laboral [3].

Segundos os dados mais recentes, mais de metade da população mundial vive hoje em espaços urbanos. Só na União Europeia existem previsões que indicam um aumento ainda mais acentuado da fixação da população em centros urbanos nas próximas décadas, levando a um aumento abrupto de zonas industriais, veículos rodoviários, comboios, entre outros agentes passíveis de provocar ruído, com um

consequente acréscimo do número de indivíduos suscetíveis de sofrer efeitos adversos, tanto físico como psicologicamente, pela ação do ruído urbano. Face a esta realidade e, de modo a combater as previsões futuras, o Comité Europeu aprovou a Diretiva de Ruído Ambiental, 2002/49/EC, diretiva esta que obrigava as autoridades competentes a delimitar as áreas, criando medidas que protegessem estas áreas de conforto e melhorando a qualidade de vida dos cidadãos, deixando ao critério destas mesmas autoridades a tarefa de definir as diversas zonas e que medidas teriam de adotar de modo a mitigar os efeitos nefastos do ruído nestes locais [4].

Face ao aumento das “florestas de betão”, a construção em altura e em quantidade, afastou o comum habitante citadino da envolvente ecológica, ou seja, as florestas, os campos verdejantes, os locais onde a natureza realmente impera. Estes tornaram-se, conseqüentemente, um luxo apenas ao alcance de um grupo seleto de pessoas. Surgiu, então, uma necessidade de aproximar o cidadão comum, habituado apenas ao ambiente citadino de uma interação com a natureza, a dada altura uma realidade quase utópica nos grandes centros urbanos. Estes espaços verdes tornaram-se, locais que poderiam aproximar, de novo, o homem da natureza. Locais estes, em que se poderia desligar da realidade envolvente ao mesmo tempo que se criava um pulmão verde que beneficiaria, tanto os utilizadores do jardim, como a cidade, como um todo, tornando-se um local passível de mitigar os efeitos nefastos da poluição ambiental.

Um parque urbano é caracterizado como um local criado para entretenimento e realização de atividades ao ar livre. Assim, os parques devem proporcionar um bom ambiente acústico e uma visão agradável aos seus utilizadores, de modo a realizar a sua função em pleno, ou seja, a criação de um local calmo e agradável, isolado do ruído citadino, de modo a que toda a experiência seja focada na utilização do parque e não seja denegrida pela envolvente [5].

Atualmente, muitas metrópoles e centros urbanos de diferentes dimensões apresentam, ao dispor dos seus habitantes, diversos tipos de parques, desde pequenos jardins até espaços com área e magnitude considerável. Estes locais evoluíram, incorporando em si diferentes traços arquitetónicos como pequenas praças, estátuas ou espaços lacustres, tornando-se marcos importantes das localidades, assim como aliados à proliferação de micro negócios, como é o caso de pequenos cafés, lojas de recordações ou postos de turismo. Além de serem locais que se poderia utilizar para passar tempo em família, praticar desporto ou simplesmente usufruir de toda a envolvente, transformaram-se em locais onde, pontual ou periodicamente se podem realizar uma panóplia infindável de atividades, desde espetáculos de música ou dança, eventos culturais, ou mesmo feiras dos mais variados tipos. Todas estas atividades catapultaram estes locais para um patamar de destaque no puzzle que são as cidades modernas, tornando-se locais relevantes a nível ambiental, social e cultural [6].

Devido ao importante papel que estes locais verdes têm assumido nos últimos anos, como uma peça chave fundamental na simbiose dos grandes centros urbanos, torna-se imprescindível o controlo e monitorização de modo a preservá-los. A atividade quotidiana dos centros urbanos cria uma pressão cada vez mais acentuada do ruído sobre as zonas verdes, sendo necessário a criação de condições que promovam o “isolamento” destes locais. Com esse intuito, é preciso criar medidas que protejam estes locais, através da elaboração de mapas de ruído, caracterização de zonas sensíveis, atuação nas próprias fontes tomando como exemplo a mudança do piso da Via de Cintura Interna do Porto para um pavimento absorvente que também atua a nível acústico. Nos casos em que não é possível atuar diretamente na fonte, é necessário criar medidas e infraestruturas nos locais a serem intervencionados, de modo a promover uma mitigação do efeito do ruído, nomeadamente a implantação de barreiras acústicas, o método mais eficaz e perentório na minimização de ruído urbano. Como é inerente a todas as áreas de engenharia, só é necessário intervencionar e criar soluções aquando da existência de um problema. Tendo isso em mente, a crescente produção de ruído de uma via com uma elevada afluência rodoviária

cria uma pressão excessiva e degradante nos diferentes espaços de lazer ao ar livre, levando à criação de uma barreira que inibe o comum utilizador de usufruir de todas as potencialidades do espaço.

O Jardim Botânico, que surgiu em 1951, foi desenvolvido com o intuito de proporcionar uma aproximação com uma realidade cada vez mais distante nos grandes centros urbanos, nomeadamente o contacto com a natureza e diferentes espécies de biodiversidade, tanto animal como vegetal, que se tem vindo a degradar e a mascarar nos últimos anos, devido ao ruído proveniente do tráfego da Via de Cintura Interna.

Tendo este problema em foco, a par da preocupação ambiental e social de reduzir o ruído, existe uma componente visual, ou seja, em espaços de importante relevo patrimonial natural do Jardim Botânico, como é o caso do jardim das árvores centenárias, existe visão direta para a Via de Cintura Interna, criando um efeito perturbador na hora de contemplar este local, sendo necessária a atuação tanto a nível acústico como visual.

O objetivo do presente trabalho, passa pela elaboração de uma estratégia de mitigação do ruído dentro do recinto, através do dimensionamento e implementação de uma barreira acústica nos limites do Jardim Botânico do Porto com a Via de Cintura Interna, sob o pretexto de minimizar o ruído a que os utilizadores do mesmo são expostos.

Para tal, o fundamento do trabalho passa pela realização de medições de ruído *in situ*, de modo a caracterizar o panorama geral do jardim em termos acústicos, e de modo a que, através de modelação computacional, seja possível a elaboração de um mapa de ruído que permita definir uma futura barreira com as características ajustadas ao local em termos de minimização de ruído.

De modo a suportar o estudo, foi necessário recorrer a diversas abordagens iniciais, passando pela caracterização da situação atual, nomeadamente a nomenclatura existente sobre ruído em jardins públicos, servindo como um termo comparativo com uma possível intervenção no Jardim Botânico. É de interesse estudar a afluência rodoviária da Via de Cintura Interna do Porto, verificando a existência de padrões na afluência de tráfego, em que dias e horários é maior a afluência de veículos e que tipo de veículos são mais propícios a circular nos diferentes períodos do dia, sendo o objetivo fundamental a determinação do volume e o tipo de veículos nomeadamente veículos ligeiros e pesados.

Também constitui um foco de interesse, a visão na ótica do utilizador, ou seja, determinar até que ponto, o ruído provocado pelo tráfego rodoviário, seria um entrave e um critério de incomodidade para o cidadão usufruir do Jardim Botânico, nomeadamente, quando é que o ruído seria um fator que poderia usurpar a finalidade do mesmo, sendo este um local de harmonia e ligação com a natureza. Foi, para isso, disponibilizado a todos os cidadãos que entrassem no jardim, um inquérito em formato físico e presencial, onde era pedido para avaliar a sua experiência, salientando de que forma o ruído era um fator limitante e dissuasor para futuras visitas.

Com a modelação em computador da barreira acústica, considerou-se de interesse fazer uma análise ao local exato de implementação da barreira, tipo e dimensão, assim como uma análise de mercado, de modo a avaliar, de modo grosseiro, o custo total deste projeto, com o intuito de dotar a direção do Jardim Botânico com um panorama geral de qual seria, aproximadamente, o investimento necessário num projeto desta envergadura.

Por fim, o presente trabalho teve ainda o objetivo de consolidar o conhecimento adquirido na unidade curricular de “Acústica Ambiental”, lecionada no Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, estando este projeto inserido num caso de estudo real que <podrá apresentar um impacto positivo e profundo direto na saúde e bem-estar dos utilizadores do Jardim Botânico do Porto e habitantes das imediações.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

De modo a facilitar e a contextualizar a temática abordada ao longo do presente trabalho, este foi estruturado em seis diferentes capítulos. Os seguintes tópicos abordam, de forma abreviada, a temática exposta em cada capítulo.

O capítulo 1, de nome “Introdução”, é apresentada uma breve contextualização, nomeadamente o enquadramento do tema, o objetivo e uma descrição sumária sobre a estrutura do presente trabalho.

No capítulo 2, “Conceitos e definições”, são abordadas as diferentes temáticas inerentes à área científica da acústica geral, nomeadamente fundamentos básicos. São também abordados diversos tópicos mais intrincados da acústica de exteriores e obviamente barreiras acústicas, explicados de uma forma clara e concisa os diversos pontos fundamentais, assim como os diversos mecanismos importantes envolvidos neste estudo com o intuito de dotar o leitor de diferentes conhecimentos imprescindíveis para a compreensão e enquadramento do tema.

No capítulo 3, “Estado da Arte”, é abordado o conhecimento existente sobre o tema, ou seja, é feita uma análise a diversos estudos realizados previamente de modo a perceber que avanços foram realizados sobre medidas de mitigação de ruído em jardins públicos, assim como a situação existente posteriormente a uma intervenção de modo a estabelecer uma comparação teórica com o estado do Jardim Botânico.

No capítulo 4, “Metodologia”, são descritas todas as abordagens ao trabalho, ou seja, todas as análises realizadas, desde as previsões de tráfego e elaboração de um sistema de inquéritos aos utilizadores do jardim. É também descrito o material e equipamento utilizado nas diferentes medições realizadas e o método de abordagem à análise da paisagem acústica do Jardim Botânico.

No capítulo 5, denominado por “Porto - A cidade e os espaços verdes”, é apresentada uma síntese sobre a história moderna da cidade do Porto, uma abordagem ao tráfego da cidade e algumas medidas que foram implementadas para reduzir o tráfego da cidade, assim como a evolução dos espaços verdes da cidade.

No capítulo 6, denominado por “Resultados-Medições”, são apresentados os diferentes resultados das medições realizadas *in situ* e os valores dos parâmetros medidos assim como uma discussão e explicação sobre os valores apresentados.

No capítulo 7, denominado por “Resultados- Perceção subjetiva”, são apresentados os diferentes resultados dos inquéritos “sócio-acústicos”, fazendo uma análise aprofundada sobre a perceção do utilizador comum do Jardim Botânico face ao ruído da Via de Cintura Interna e sobre a sua perceção global sobre o mesmo.

No capítulo 8, denominado por “Sugestões para melhoria da Paisagem Sonora”, é apresentada a eficácia da barreira existente no local, diversas simulações informáticas de barreiras acústicas, através do *software CADNA-A* e algumas opções de mascaramento do ruído por ação de sons naturais e artificiais.

Por fim, no capítulo 9, “Conclusões”, são apresentadas as conclusões mais significativas do projeto, dando também, alguns tópicos para impulsionar possíveis futuros estudos ou melhoramentos ao presente trabalho.

2

Conceitos e Definições

2.1. Definições

2.1.1. Som e ruído

A Acústica representa uma subdivisão da Física que se dedica ao estudo e compreensão das ondas sonoras. Dentro desta subdivisão são então englobadas diferentes áreas de interesse, ou seja, é uma disciplina que aborda diversas temáticas do som nomeadamente a acústica musical, acústica de edifícios entre muitas outras [7].

Na base mais elementar da Acústica, um Som é caracterizado por uma variação de pressão composta por ciclos de compressão, dilatação e rarefação que se propaga num meio elástico, nomeadamente água, ar, ou materiais de construção, como exemplificado na figura 2.1. É então importante diferenciar *som* de *ruído*, sendo o *som* caracterizado como um estímulo agradável ou com significado para o recetor e um *ruído* como um estímulo desagradável ou sem significado para o recetor, sendo esta caracterização subjetiva que pode variar dependendo do recetor. O estudo da Acústica é então assente em três pilares: a pressão, a frequência e o tempo [7].

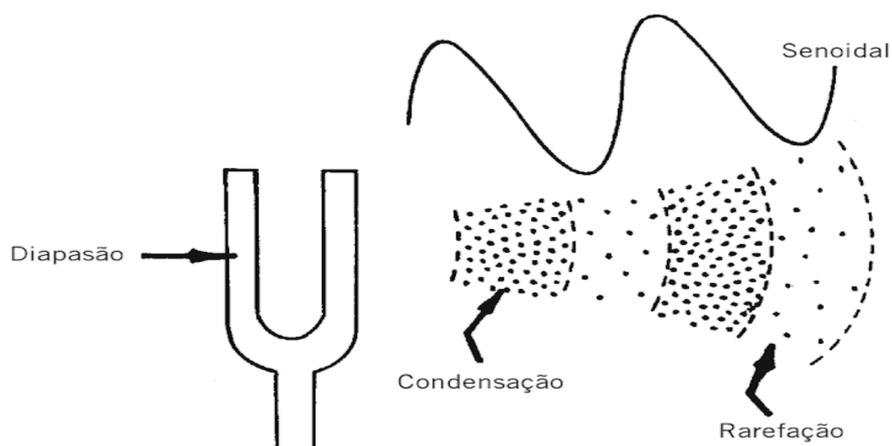


Figura 2.1: Onda de condensação e rarefação produzida por um diapasão em vibração [8]

Toda a área de interesse da Acústica só é possível devido à capacidade que o Homem tem de transformar as variações de pressão em som. Toda a Acústica está direcionada e programada para a audição humana. Esta transformação é possível devido ao sistema auditivo. Na figura 2.2 está representado um corte esquemático de um ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno [7].

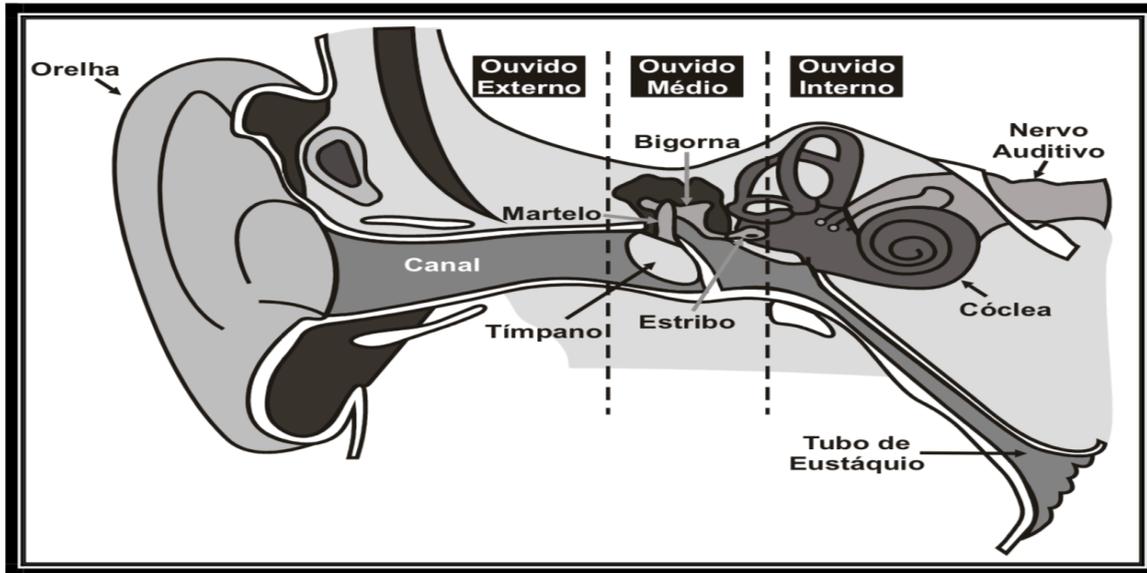


Figura 2.2: Esquema de um ouvido humano [9]

Focando agora na onda sonora, existem diferentes tipos de ondas de som, ou seja, pode-se dividir os diferentes sons em categorias. Uma alteração, tanto uma diminuição como uma intensificação do som, levam o ouvido a detetar qual a origem da fonte sonora, ou melhor, o ouvido consegue detetar e associar o ruído a uma fonte sonora específica. É então importante ter conhecimento das diferentes categorias das fontes sonoras de modo a determinar mais precisamente que parâmetros, tempo de medição e equipamentos são necessários para a realização de medições e caracterizações necessitando muitas vezes de um tato auditivo de modo a determinar qual a fonte sonora que vai ser analisada [10].

O ruído, pode ser contínuo, intermitente ou impulsivo. O ruído contínuo é produzido por maquinaria e aparelhos, como bombas, geradores ou máquinas de processamento onde o som tem sempre a mesma frequência e sem interrupção. O ruído intermitente é mais preponderante em máquinas que operam em ciclos, veículos rodoviários ou aviões, e é notado, por exemplo, aquando da passagem de um carro ou de um avião, podendo o mesmo ser medido de forma contínua em cada ciclo, ou seja, para cada ciclo, o nível de exposição sonora deve ser medido assim como a duração. Um ruído impulsivo tem origem em eventos espontâneos e de curta duração, sendo um impulso breve e repentino, ou seja, como um disparo ou uma explosão [10].

A lei geral da propagação das ondas de pressão sonora pode ser expressa pelos princípios gerais da mecânica, nomeadamente a lei das transformações adiabáticas, o segundo princípio fundamental da mecânica e o princípio da continuidade. A conjugação destes três princípios é expressa pela expressão 2.1.

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \quad (2.1)$$

Em que c é a celeridade (m/s), p a pressão (N) e t expressa o tempo (s).

A velocidade de propagação das ondas sonoras, também designada por celeridade representada pela letra c , sendo válida apenas para ar seco ao nível do mar, descreve a propagação da variação de pressão no ar com a variação da temperatura. Esta é expressa pela expressão 2.2

$$c = 20,045\sqrt{T} \quad (2.2)$$

Com T expresso em graus kelvin e θ em graus Celcius determinado por $T = 273,15 + \theta$.

Outro fator a ter em conta aquando do estudo da propagação sonora é o comprimento de onda, designado por λ , que expressa a distância existente entre dois pontos idênticos da onda teórica. O comprimento de onda pode ser expresso, através da expressão 2.3, que relaciona a celeridade (c), com o período (T) dado por $T = \frac{1}{f}$ e pela frequência dada por f (Hz).

$$\lambda = c \cdot T \quad (2.3)$$

Por fim, a direccionalidade de uma fonte sonora geralmente não é omnidireccional, ou seja, quando um som é emitido por uma fonte sonora, este não é emitido para todas as direcções de forma igual como uma esfera perfeita. De modo a avaliar esta característica são utilizados o coeficiente de direccionalidade (Q) e o índice de direccionalidade (G).

O coeficiente de direccionalidade é a relação entre a intensidade sonora numa direcção (φ, θ) e a potencial total que uma fonte omnidireccional propaga na mesma direcção, relação dada pela expressão 2.4.

$$Q(\varphi, \theta) = \frac{I(\varphi, \theta)}{I_{\text{OMNI}}} = \frac{P_{\text{RMS}}^2(\varphi, \theta)}{P_{\text{OMNI}}^2} \quad (2.4)$$

Já o índice de direccionalidade é dado em dB numa direcção (φ, θ), pela expressão 2.5 [7].

$$G(\varphi, \theta) = 10 \log Q(\varphi, \theta) \quad (2.5)$$

2.1.2. Intensidade e potência sonora

Além da pressão e de modo a caracterizar a propagação sonora, são utilizadas outras grandezas, nomeadamente a intensidade sonora e a potência sonora. A relação existente entre estas grandezas é representada na figura 2.3.

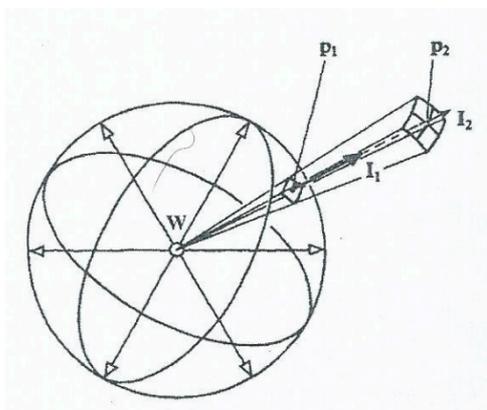


Figura 2.3: Relação entre intensidade (I), a potência (W) e a pressão (p) [7]

A intensidade sonora (I) expressa a energia média que, num segundo, atravessa $1m^2$, numa dada direcção, permitindo transformar a direcção de um som para uma escala vetorial, ao contrário da pressão sonora

que é representada por uma representação escalar. Já a potência sonora é inerente à fonte emissora em vez do estímulo, e é definida como a energia total num segundo que atravessa uma esfera fictícia centrada na fonte, sendo expressa em watt (W), e a sua equação matemática dada através da expressão 2.6 [7].

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (2.6)$$

Sendo I a intensidade sonora (W/m^2), W a potência sonora (W), r a distância (m), p a pressão sonora (Pa), ρ a massa volúmica do ar, sendo aproximadamente $1,2 \text{ kg/m}^3$ e c a celeridade (m/s), aproximadamente 340 m/s.

2.1.3. Níveis

Um ser humano jovem e saudável, consegue ouvir entre 10^5 Pa até ao limiar da dor a cerca de 100 Pa, havendo por isso uma gama de audibilidade com uma variação de até 10^7 . O facto do ouvido humano apresentar uma resposta logarítmica em vez da resposta linear, torna pouco exequível a aplicação de uma escala linear em pascal, levando a apresentação de valores muito heterogéneos e de pouco valor prático. Desse modo foi então necessário utilizar uma outra unidade que uniformizasse os resultados tendo então sido utilizado o decibel (dB) que corresponde a um décimo de bel. Esta unidade não é exclusiva da área de estudo da Acústica sendo uma unidade multidisciplinar que avalia uma quantidade em função de um valor de referência.

De modo a converter pressão (p) para níveis de pressão sonora (L_p) é utilizada a expressão 2.7.

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{ou} \quad L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (2.7)$$

com $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

Para além do nível de pressão sonora, existem outros fenómenos sonoros que podem ser expressos em dB, ou seja, outros níveis podem ser expressos nesta medida através de uma unidade de referência, sendo de destacar o nível de intensidade sonora (L_I) ou o nível de potência sonora (L_W), através das expressões 2.8 e 2.9 respetivamente.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ (dB)} \quad (2.8)$$

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ (dB)} \quad (2.9)$$

Com $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ e $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$

A soma de dois níveis de pressão sonora não podia deixar de ser logarítmica. Esta soma deve-se ao facto de os valores estarem ajustados para essa escala, inibindo, portanto, a soma algébrica. Dito isto, a expressão geral utilizada para calcular a soma de n níveis é dado pela expressão 2.10 [7].

$$L_{\text{total}} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.10)$$

2.1.4. Frequência e banda de frequência

Cada fonte de som ou ruído apresenta uma frequência específica, ou seja, uma fonte consegue ser facilmente distinguível através da frequência emitida, tornando-se, assim, a par da pressão sonora, uma das mais importantes características essenciais à descrição e caracterização de um sinal sonoro. Esta característica do sinal sonoro, medida em hertz (Hz), serve para quantificar o ciclo de flutuações completas de pressão por segundo, este ciclo é então caracterizado por um senóide.

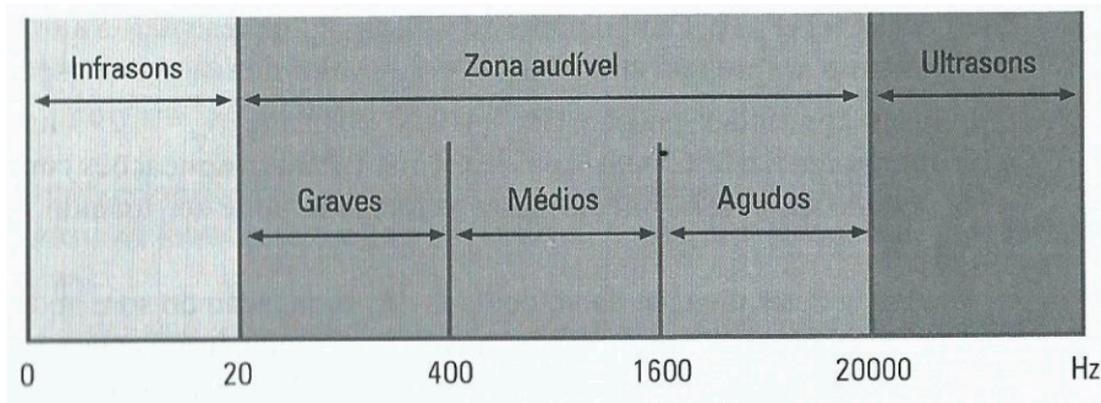


Figura 2.4: Caracterização do som no domínio da frequência. [11]

Em Acústica é então comum distinguir três zonas de frequências, as *graves* entre os 20 e os 355 Hz, as *médias* entre os 355 e os 1410 Hz e, por fim, as *agudas* entre os 1410 e os 20 000 Hz, abaixo dos 20 Hz, a frequência é denominada *infra-som* e acima dos 20 kHz denominada *ultra-som*, estes últimos ouvidos por animais como o cão e, num nível muito superior, o morcego [7]. Na figura 2.4 é caracterizado o som no domínio da frequência.

Embora a gama de frequência audíveis pelo ser humano seja bastante ampla, entre os 20 Hz e os 20 kHz, a capacidade de distinção de variações está limitada à gama de frequência emitida pela fonte, ou seja, para frequências baixas, na ordem dos 125 Hz, é possível detetar variações de 0,5 Hz já para uma frequência na ordem dos 8 kHz, a variação passível de ser detetada é de cerca de 60 Hz.

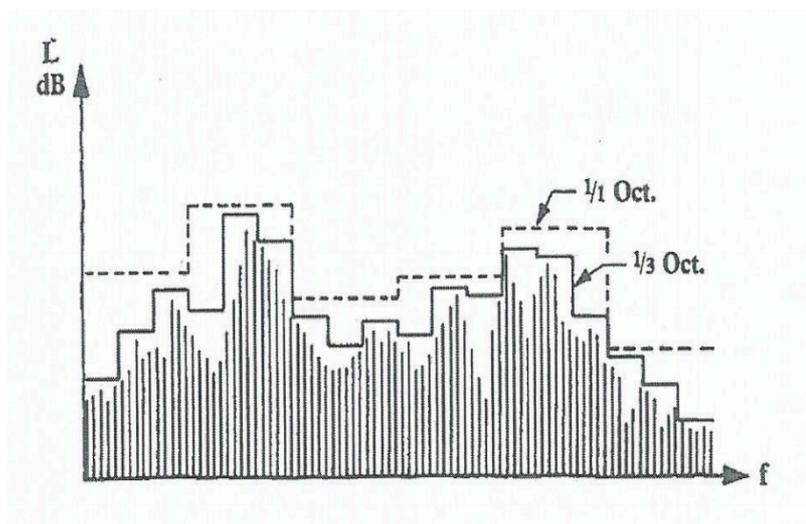


Figura 2.5: Exemplo de banda sonora de 1/1 e 1/3 de oitava para um mesmo ruído [7]

De modo a tornar a ampla escala mais viável, esta foi compactada em bandas de frequência, de grosso modo, esta compactação ajuda nas medições de níveis de pressão sonora, pegando na extensa escala e

tornando-a numa gama de resultados com bandas de frequência de largura pré-definidas. Deste modo, as escalas mais utilizadas na acústica são as escalas de largura de uma oitava e de um terço de oitava, figura 2.5, sendo ainda utilizadas, em ambiente controlado, como laboratórios, frequências com bandas de 1/12 de oitava e 1/24 avos de oitava [11].

Uma “banda” é então definida como um aglomerar de frequências compreendidas entre um limite inferior (f_1) e um limite superior (f_2), com um ponto (f_0) denominado valor médio. O valor médio pode ser obtido pela expressão 2.11, os limites inferiores e superiores podem ser obtidos pelas expressões 2.12 e 2.13 respetivamente.

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} \quad (2.11)$$

$$f_1 = f_0 2^{-\frac{K}{2}} \quad (2.12)$$

$$f_2 = f_0 2^{\frac{K}{2}} \quad (2.13)$$

Sendo $K=1$ para banda de uma oitava e $K=1/3$ para bandas de um terço de oitava.

Por fim, a largura de banda (B), é definida como a diferença entre o limite superior e o limite inferior, novamente dependendo do tipo de oitava utilizado. A formulação que exprime a largura de banda é dada pela expressão 2.14 [7].

$$B = f_2 - f_1 = \frac{2^K - 1}{\sqrt{2^K}} f_0 \quad (2.14)$$

Sendo $K=1$ para banda de uma oitava e $K=1/3$ para bandas de um terço de oitava.

2.1.5. Curvas de ponderação

Diferente dos equipamentos de medição, nomeadamente os microfones, que registam as variações de pressão de forma precisa e consistente em todas as frequências, o ouvido humano apresenta um padrão seletor de modo a amplificar ou suprimir consoante a frequência em que o estímulo é emitido. Deste modo, o ouvido humano é mais sensível a frequências entre os 2300 e 2800 Hz e pouco sensível a frequências abaixo dos 125 Hz, estando esta gama de frequência ligada à intensidade sonora do próprio som.

De modo a aproximar os resultados obtidos pelos equipamentos de medição com a perceção do ouvido humano, foi necessário criar um método de medição que tornasse as medições compatíveis com a perceção do ouvido humano. Com esse intuito, foram criados diversos filtros eletrónicos que são incorporados nos aparelhos de medição. O filtro mais utilizado é o filtro A, para obter resultados expressos em dB(A), sendo este o mais indicado na aproximação à resposta auditiva humana. Além do filtro A, existe ainda o filtro B, C e D, este último mais utilizado para ruído de aviões, como representado na figura 2.6 [7].

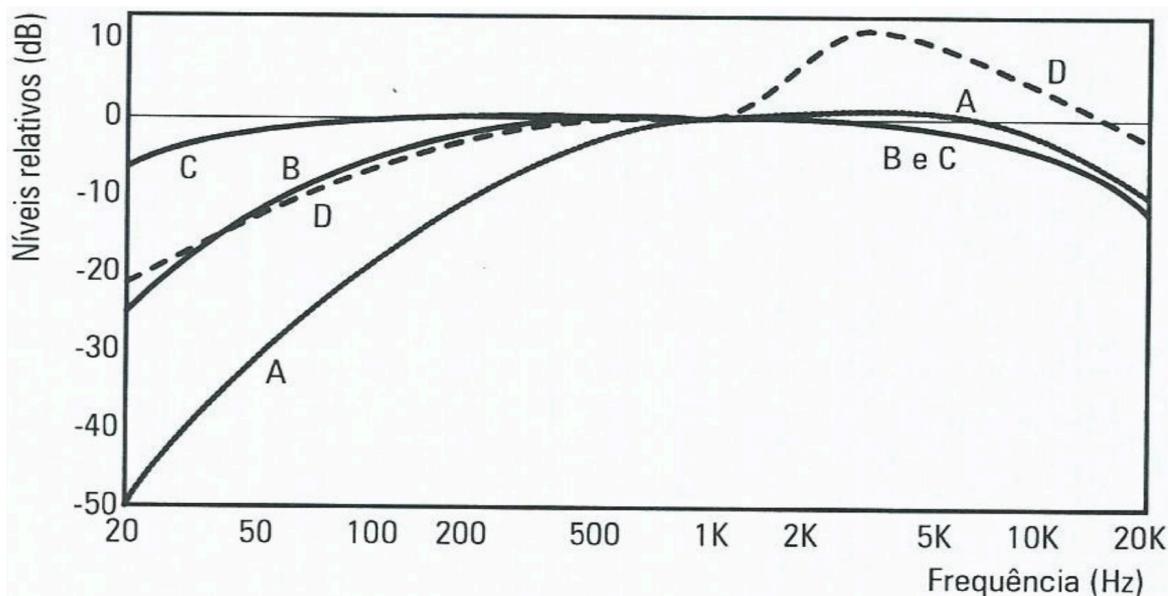


Figura 2.6: Curvas de ponderação para os filtros A, B, C e D [11]

O nível sonoro em dB(A) é então um valor único global que traduz a resposta acústica de um ruído depois da atuação do filtro do tipo A, ou seja, aos valores de nível de pressão sonora, em dB, das diferentes frequências é somado algebricamente os valores de ponderação A. De seguida, os valores de cada frequência corrigida são somados logaritmicamente de modo a ter o valor final do nível sonoro em dB(A). Os valores de correção são apresentados no quadro 2.1 [7].

Quadro 2.1: Valores numéricos das ponderações da curva A para bandas de frequência de 1/1 de oitava na gama do audível [7]

Banda de frequência (Hz)	Ponderação filtro A para 1/1 oitava (dB)	Banda de frequência (Hz)	Ponderação filtro A para 1/1 oitava (dB)
31	-40	1000	0
63	-26	2000	+1
125	-15,5	4000	+1
250	-8,5	8000	-1
500	-3	16000	-7

2.1.6. Análise do tempo

Um fator importante na análise do ruído é a duração do mesmo. De forma elementar, um ruído pode ter uma duração instantânea, como um disparo, ou ter uma duração perto do infinito como por exemplo uma queda de água. É por isso necessário recorrer a parâmetros que utilizem o fator “tempo” para descrever o estímulo sonoro, fruto muitas vezes da instabilidade temporal dos níveis de pressão sonora.

Um parâmetro importante para descrever o fator energético é o nível de pressão sonora equivalente, designado por L_{eq} , representando o nível constante num intervalo de tempo que produz a mesma energia que o som em avaliação no mesmo intervalo de tempo. O L_{eq} é então expresso pela expressão 2.15.

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2.15)$$

Outros parâmetros importantes para analisar o fator tempo são os parâmetros estatísticos. O nível, num intervalo de tempo excedido em N% é então definido por L_N , correspondendo em termos estatísticos ao quantil N. Entre o ano 1988 e 2001, em Portugal os descritores mais utilizados foram o L_{95} e o L_{50} que, entretanto, caíram em desuso em detrimento do *Regulamento Geral do Ruído* e o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. No panorama internacional ainda podem ser encontrados os descritores L_{95} , L_{50} , assim como outros como o L_5 , L_{10} , L_{99} .

Em suma, o L_{eq} (nível de pressão sonora contínua equivalente) e o L_N (nível de pressão sonora estatística) são os dois parâmetros mais utilizados para o estudo no domínio temporal. O L_{eq} é então a média num intervalo de tempo de medição T enquanto que o L_N é o valor de nível que é excedido em N% do intervalo de tempo da medição, sendo então L_{eq} uma média, e o L_N uma mediana. Os equipamentos mais modernos de medição já permitem obter diretamente estes parâmetros [7].

2.1.7. Consequências na saúde

Ao longo da evolução humana, o cérebro foi programado para associar ruído a uma possível fonte de perigo. Mesmo com o avanço científico, através da medição e caracterização do ruído, este ainda é um foco de poluição cujos efeitos na saúde são vistos de forma displicente, não havendo uma correta associação entre diversos efeitos adversos e a exposição ao ruído. Embora o ser humano consiga viver e adaptar-se até um certo nível a um ambiente ruidoso, os efeitos na saúde podem ser evidentes. Estimase que na Europa cerca de 56 milhões de pessoas, 54% das quais habitam zonas urbanas com uma densidade populacional superior a 250000 mil habitantes, estão expostas a um ruído rodoviário excessivo, ou seja, um L_{den} superior a 55 dB(A).

Como foi dito anteriormente, a elevada exposição ao ruído produz no Homem um efeito danoso. Este efeito, além do comum mau estar e desconforto provocado, induz muitas patologias, tanto do foro físico como psicológico. A nível físico produz graves danos a nível auditivo, levando a perdas auditivas precoces, surgimento de doenças auditivas como *tinnitus* e surgimento de doenças cardiovasculares através da variação de pressão sanguínea e variação no batimento cardíaco, levando ao surgimento de acidentes vasculares cerebrais, ataques cardíacos e hipertensão. A nível psicológico, o efeito mais comum da exposição é a irritabilidade que produz uma resposta negativa no corpo, como é o caso de raiva, exaustão e diversos sintomas relacionados com stress. A exposição ao ruído pode ainda influenciar nos padrões de sono e capacidade cognitiva, reduzindo o desempenho laboral e os níveis de atenção que podem levar a outros tipos de acidentes laborais [12].

2.2. Acústica de exteriores

2.2.1. Atenuação do som e propagação sonora ao ar livre

2.2.1.1. Introdução

A propagação sonora ao ar livre é fortemente influenciada pela morfologia do terreno e pelas diversas condições, tanto climáticas como obstáculos, alterando, conseqüentemente, o seu percurso aumentando ou diminuindo o nível de potência sonora. No caso particular do Jardim Botânico, serão abordadas as atenuações por divergência geométrica, atenuação devido ao ar, à absorção do solo, ação do gradiente de temperatura e velocidade do vento, atenuação devido a densa vegetação, atenuação devido a edifícios e, por fim, a atenuação devido ao nevoeiro e chuva [7].

2.2.1.2. Atenuação devido a divergência geométrica

A atenuação devido a divergência geométrica é dos mais importantes na propagação de ondas sonoras no exterior, sendo expressa pela distância entre a fonte e o recetor. Um dos pontos centrais na descrição deste tipo de atenuação é a separação entre os dois tipos de fontes sonoras existentes, fontes pontuais e fontes lineares. Uma “fonte pontual” é definida como originária num único ponto do espaço, como por exemplo um único veículo, já uma “fonte linear” é definida como originária num segmento linear, ou seja, por exemplo, uma fila de veículos. As intensidades sonoras destes dois tipos de fontes são obtidas pela expressão 2.16 para fontes pontuais e pela expressão 2.17 para fontes lineares [7].

$$I(r) = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.16)$$

$$I(r) = \frac{W'}{2\pi r} \quad (2.17)$$

Onde, I é a intensidade sonora (W/m^2), W é a potência sonora (W), W' é a potência sonora linear (W/m) e r é a distância emissor-recetor (m).

O decréscimo do nível de pressão sonora é então dado, em função da distância através da expressão 2.18, para fontes pontuais e pela expressão 2.19 para fontes lineares [7].

$$\Delta L = 20 \log \left(\frac{D_1}{D_0} \right) \quad (2.18)$$

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{D_1}{D_0} \right) \quad (2.19)$$

2.2.1.3. Atenuação devido ao ar

A atenuação devido ao ar é determinada em função da frequência, da humidade relativa (HR), influente para valores abaixo dos 30% e da temperatura do ar. A atenuação devido ao ar é mais preponderante para altas frequências, sendo quase nulo para as baixas frequências [7]. De notar que para a zona de estudo a humidade relativa ronda os 50% a 70% e a temperatura média ronda os 15°C [13] sendo apresentado no quadro 2.2 os valores de atenuação para esta gama. [7]

Quadro 2.2: Coeficientes de atenuação atmosféricas em dB/km [7]

Temperatura (°C)	HR (%)	62,5 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
30	70	0,065	0,256	0,963	3,14	7,41	12,7	23,1	59,3
	50	0,091	0,351	1,25	3,57	7,03	11,7	24,5	73,1
20	70	0,090	0,339	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9	76,6
	50	0,123	0,445	1,32	2,73	4,66	9,86	29,4	104,0
10	70	0,112	0,411	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8	117,0
	50	0,160	0,486	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7	155,0
0	70	0,151	0,390	0,763	1,61	4,64	16,1	55,5	153,0
	50	0,181	0,411	0,821	2,08	6,83	23,8	71,0	147,0

2.2.1.4. Atenuação devido à absorção do solo

A atenuação devido ao efeito do solo é diretamente afetada pelo atrito causado nessa superfície. De forma simplista, pode definir-se dois tipos de terreno, os terrenos rígidos, como asfalto, betão ou água líquida, e os terrenos macios, como neve ou relva, sendo apenas contabilizado para distâncias relativamente pequenas [7].

2.2.1.5. Atenuação devido ao gradiente de temperatura e velocidade do vento

Quando se analisa a atenuação do ruído exterior, outros dois fatores que influenciam a propagação sonora são o gradiente de temperatura e a velocidade do vento. A velocidade de propagação no ar varia com a velocidade, expressão 2.2, esta variação difere a diferentes alturas levando a um encurvamento das ondas sonoras, como exemplificado na figura 2.7. Quando a temperatura aumenta com o aumento de altitude, o gradiente é positivo e quando decresce com a altitude, o gradiente é negativo. Quando o gradiente é positivo as ondas sonoras sofrem uma difração discente, criando um aumento do nível sonoro ao nível do solo, quando o gradiente é negativo, o efeito é inverso, diminuindo o nível sonoro ao nível do solo, levando a possível formação de zonas de sombra.

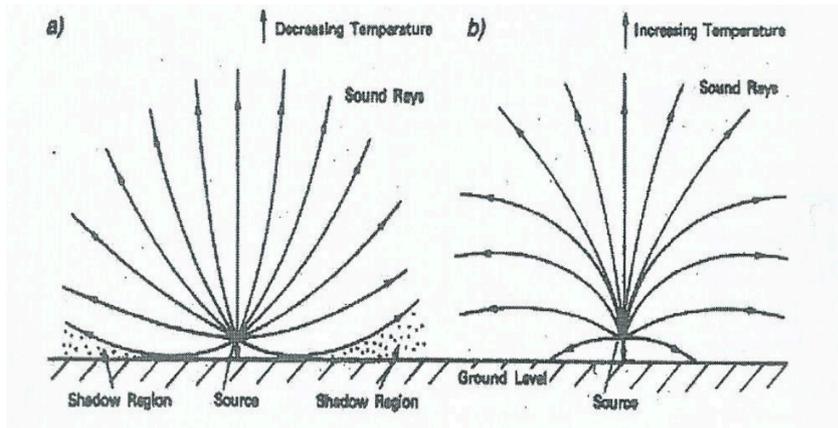


Figura 2.7: Efeito da variação da temperatura na propagação das ondas sonoras, com diminuição da temperatura (a)) e aumento da mesma (b)) [7]

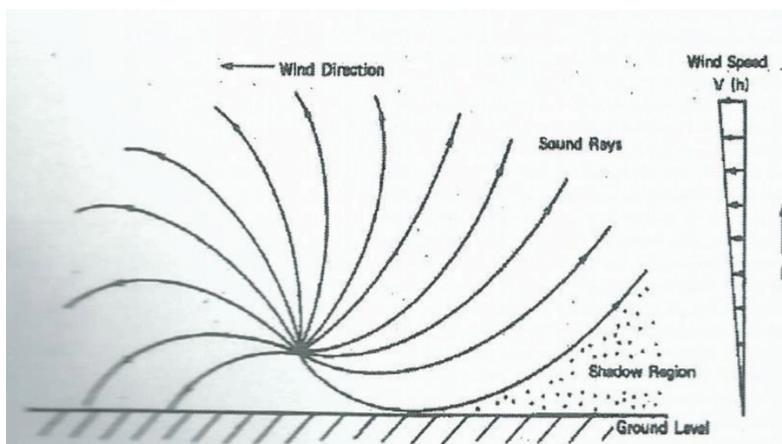


Figura 2.8: Variação da velocidade do vento em função da altura [7]

Já quando se trata do efeito do vento nas ondas sonoras, a sua influência vai ser ditada pela direção e intensidade do mesmo, ou seja, se o vento soprar do emissor para o recetor, as ondas vão arquear em

direção ao solo levando a um aumento do nível sonoro no recetor, se a direção do vento for o oposto, as ondas vão arquear no sentido contrário ao solo levando a uma diminuição do nível sonoro no recetor, figura 2.8. De notar que tanto a atenuação devido ao gradiente de temperatura e da velocidade do vento só apresentam efeitos significativos a distâncias superiores a 100 m e, tanto um como outro, provocam uma variação dos níveis de pressão entre -7 dB e +12 dB. Um dos métodos usados para determinar a influência das diferentes condições atmosféricas são as tabelas de *Pasquill* [7].

2.2.1.6. Atenuação devido a densa vegetação

A atenuação devida a densa vegetação só é contabilizada para espessuras de aglomerados florestais superiores a 10 m sendo mais preponderante para altas frequências. Existe ainda o fator psicológico associado à colocação de vegetação, impedindo a visão direta da fonte sonora e o movimento das folhas devido à ação do vento que ajuda a “mascarar” o ruído. Uma das formas de prever a atenuação devido à densa vegetação é descrita no quadro 2.3 [7].

Quadro 2.3: Atenuação da vegetação em função da distância percorrida pelo som [7]

Distância (m)	Frequência									Hz
	31	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
$10 \leq d < 20$	0	0	0	1	1	1	1	2	3	dB
$20 \leq d < 200$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12	dB/m

2.2.1.7. Atenuação devido a edifícios

A atenuação devido a edifícios só será contabilizada se existir linha direta da fonte sonora e o recetor, podendo esta, atingir em níveis práticos, um valor máximo de 10 dB, caso exista um edifício entre a fonte e o recetor a atenuação será igual a zero. Aquando da determinação e caracterização das atenuações totais, a atenuação do solo e de edifícios não devem ser contabilizados em simultâneo, devendo, por isso, ser contabilizado apenas a atenuação que apresenta o valor maior. A atenuação devido a zonas edificadas pode ser quantificada pela ISO 9613-2 [14] utilizando a expressão 2.20 [7].

$$A_{\text{edifícios}} = 0,1B \cdot d_B \quad (2.20)$$

Onde:

$$B - \text{Densidade de edifícios } B = \frac{\text{Área (planta)edifícios}}{\text{Área total de terreno (com edifícios)}}$$

d_B – Comprimento (m) do caminho sonoro através de zonas edificadas

2.2.1.8. Atenuação devido ao nevoeiro e chuva

De forma geral, o efeito do nevoeiro e da chuva são fatores imprevisíveis, de difícil quantificação, sendo variável com a intensidade dos mesmos. Deste modo, a ação destes fatores propicia a propagação a maiores distâncias do som e os gradientes de temperatura e velocidade do vento são menores. [7]

2.2.2. Ruído Rodoviário

O ruído do tráfego rodoviário tem vindo a ganhar destaque no planeamento acústico das cidades tornando-se um fator de relevo aquando do ordenamento da qualidade acústica das mesmas. Quando, numa estrada, um veículo passa por um ponto de observação, o valor do nível de pressão sonora tende a aumentar, estabelecendo o seu pico geralmente aquando da passagem pelo ponto de observação, tendendo a diminuir com o conseqüente afastamento do veículo. Já em situação de tráfego elevado, ou seja, congestionamento, os níveis sonoros, geralmente, tendem a ser constantes e invariáveis, apresentando padrões ao longo do dia, designados por “horas de ponta”, havendo por isso, um incremento dos níveis de pressão sonora, promovido pela circulação de veículos ligeiros e pesados. O gráfico presente na figura 2.9 demonstra o espectro por frequência do ruído de veículos ligeiros e pesados no domínio da frequência. [7]

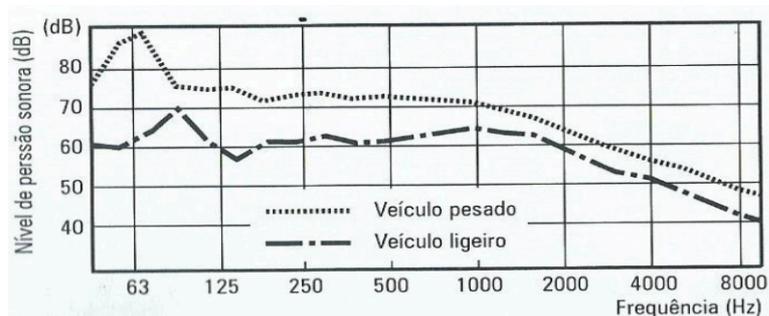


Figura 2.9: Espectro típico do ruído de tráfego de veículos ligeiros e pesados [11].

De modo a caracterizar a globalidade do processo de emissão sonora, é então utilizado um modelo simplificado, nomeadamente fonte de ruído, meio de transmissão e ponto de receção. De forma a implementar medidas mitigadoras de ruído, é então necessário compreender este alinhamento, dando especial atenção a alguns fatores:

- Identificação da fonte sonora, existente ou previsível, assim como as características das fontes emissoras e possíveis meios de redução do ruído;
- Determinação das possíveis áreas afetadas;
- Determinação de áreas críticas com forte incidência de ruído;
- Determinação de possíveis medidas de mitigação e minimização do ruído;
- Definir a área de solo afetada, em função dos níveis de ruído estabelecido.

Com o aumento do número de transportes rodoviários nos últimos anos, a necessidade de melhorar as vias de circulação, obrigaram a um aumento considerável do número de infraestruturas afetadas a veículos rodoviários, nomeadamente automóveis ligeiros, veículos pesados e motocicletas [11].

Tendo em conta os diferentes tipos de veículos, pode destacar-se três tipos de fontes de ruído proveniente do mesmo:

- Fontes mecânicas: o ruído proveniente deste tipo de fonte é provocado pela vibração do motor e conseqüente funcionamento do mesmo, sendo transmitidas a toda a estrutura do veículo, transmitindo, por isso, energia sonora [11], sendo mais proeminente até velocidades de 20 km/h nos veículos ligeiros e 50 km/h nos veículos pesados [7].
- Fontes aerodinâmicas: o ruído proveniente é provocado pela ventilação de gases, tanto admissão e escoamento, assim como ao ruído provocado pelo escoamento de ar pela estrutura do veículo, dependendo o ruído da configuração exterior do veículo e da velocidade de circulação. [11] Este ruído é predominante a velocidades superiores a 110 km/h nos veículos ligeiros e superior a 90 km/h nos veículos pesados.

- Contacto pneu/pavimento: ruído proveniente do contacto existente entre o pneu e a superfície do pavimento, intensificado devido a irregularidades do piso, por exemplo piso de paralelepípedo ou devido a fraca manutenção dos pneus [11]. Este tipo de ruído é mais proeminente para velocidades entre os 30 e os 100 km/h nos veículos ligeiros e dos 60 aos 90 km/h nos veículos pesados [7].

Ainda na temática do ruído provocado pelo contacto pneu/pavimento, a figura 2.10 apresenta os resultados de veículo pesado a 7,5 m da via em duas condições atmosféricas diferentes, molhado e seco.

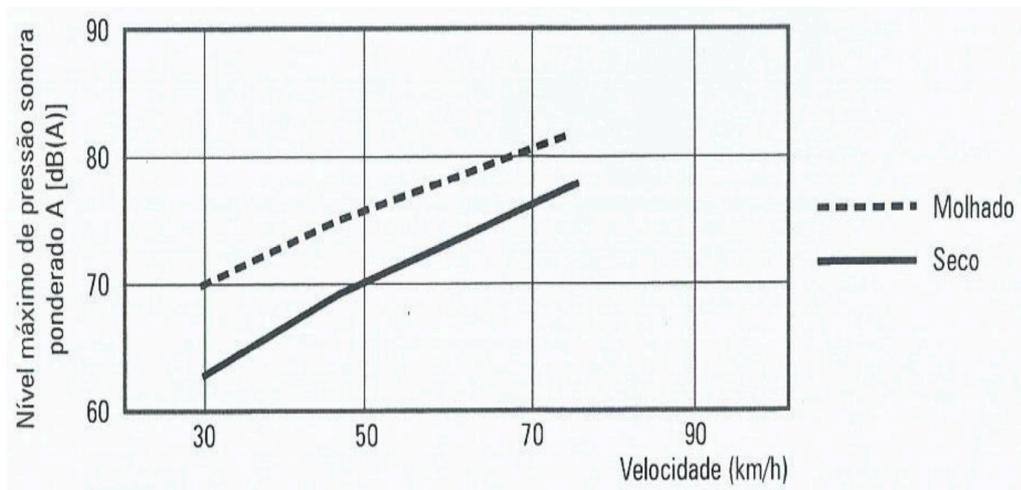


Figura 2.10: Ruído devido ao contacto pneu/pavimento, medido a 7,5 m por um veículo pesado a duas condições meteorológicas correntes [11].

2.2.3. Barreiras Acústicas

De modo a fazer a mitigação do ruído, existem três locais distintos onde se pode fazer a intervenção, sendo eles: a fonte sonora, o meio de transmissão e o recetor. De modo a mitigar a ação do ruído no emissor, as medidas mais aplicadas passam pela alteração do pavimento para ter um perfil mais poroso ou pela utilização de pneus mais silenciosos. No recetor, a medida mais utilizada passa pelo isolamento de fachadas aos ruídos de condução aérea. No meio de transmissão, a abordagem passa pela implementação de barreiras acústicas. [11]

Aquando do dimensionamento de uma barreira acústica, devem ser tidas em conta quatro considerações gerais [7]:

- Estrutura: deve resistir ao seu peso e a condições meteorológicas adversas, deve ser uma estrutura contínua, sem espaços livres, ou seja, espaços de ar, vias de transposição em casos de emergência e sistemas de escoamento de água;
- Segurança: a estrutura deve ter uma distância mínima de 10 metros ou inferior caso exista *rail* de proteção, ter em atenção a possível queda de painéis, embate de animais e ter uma estrutura resistente para embates;
- Manutenção: proteção contra vandalismo, acessos para limpeza;
- Aparência visual: tornar o aspeto da barreira o mais homogéneo com o ambiente, de modo a mascarar a sua presença na envolvente.

De modo a dimensionar a barreira acústica, pode-se utilizar a expressão 2.21 com o intuito de expressar a atenuação teórica (A'), ou seja, em que medida a sua implementação vai mitigar o ruído. Deste modo podemos utilizar o esquema da figura 2.11, de modo a calcular o número de Fresnel.

$$A' = L_p(\text{sem barreira}) - L_p(\text{com barreira}) \quad (2.21)$$

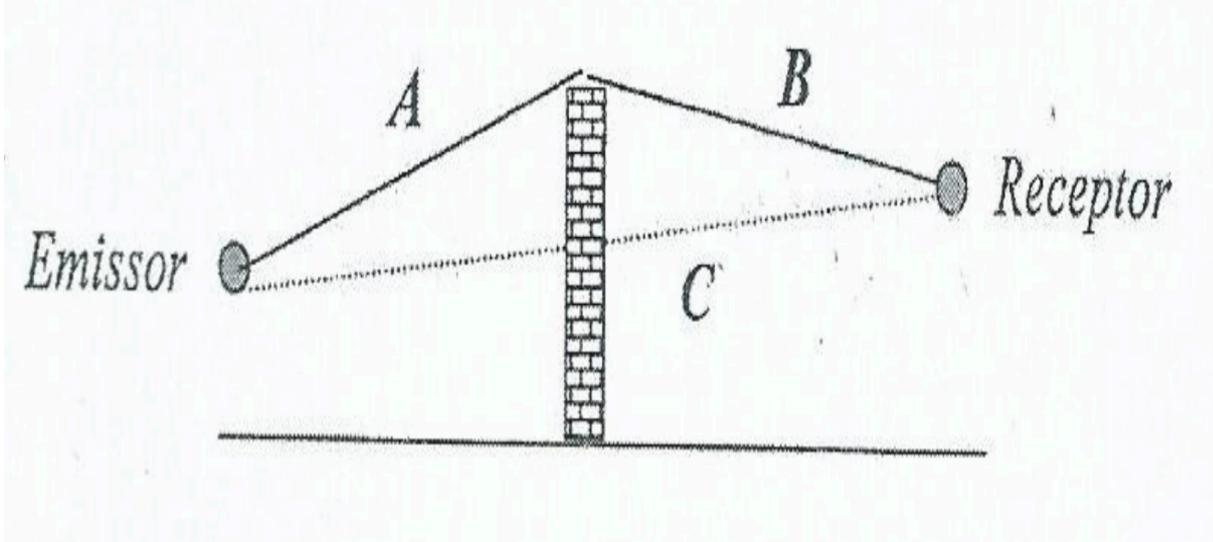


Figura 2.11: Esquema da barreira para o cálculo do número de Fresnel [7]

O número de Fresnel é então calculado pela expressão 2.22 [7]

$$N = \pm \left(\frac{2}{\lambda}\right) (A + B - C) = \pm \left(\frac{2f}{c}\right) (A + B - C) \quad (2.22)$$

Onde λ é o comprimento de onda, A , B , C são referentes à geometria da barreira presente na figura 2.11, f representa a frequência e c a celeridade. O sinal é negativo apenas quando o recetor tem visão direta sobre o emissor, não havendo por isso, barreira entre o recetor e o emissor.

Um dos métodos mais utilizados para o cálculo das atenuações, em que as fontes sonoras são pontuais e a barreira é infinita, é o método proposto por Kurze. O valor de A' é dado utilizando as seguintes expressões em função do número de Fresnel e o fator b' , sendo este igual a 0 se apresentar uma estrutura tipo barreira ou 1 se for uma barreira natural ou de aterro.

Quando a barreira apresenta dimensões reduzidas, é então necessário inserir no dimensionamento a influência do contorno das extremidades, sendo a atenuação total A'_T , dada pela expressão 2.23 [7].

$$A'_T = -10 \log\left(10^{\frac{-A'}{10}} + 10^{\frac{-A'/2}{10}} + 10^{\frac{-A'/3}{10}}\right) \quad (2.23)$$

Além do método de atenuação acústica descrito anteriormente existem outros que podem ser utilizados como é o caso do método de Maekawa e o método de Redfearn. Embora seja um método mais fidedigno para o dimensionamento de uma barreira finita, o método de Maekawa apresenta algumas condicionantes para a sua fiabilidade, sendo um método que é utilizado em condições de funcionamento muito específicas. Já o método de Redfearn apresenta a condicionante de estudar apenas barreiras de comprimento teórico infinito, apresentando um uso fácil, mas com resultados pouco fidedignos [11].

Embora a implementação de barreiras como medida mitigadora do ruído esteja amplamente difundida, é necessário tomar medidas de modo a promover a eficácia máxima das mesmas, ou seja, a eficácia da barreira está dependente da ação de fatores como o vento e o gradiente de temperatura [11]. A reflexão

causada a habitações no lado oposto à barreira, aumenta o nível sonoro nestes locais. As medidas mitigadoras deste problema podem passar pela instalação de uma camada absorvente na barreira acústica ou a inclinação da mesma num ângulo de 5° , de modo a desviar possíveis reflexões. Além dos aspetos referidos anteriormente, principalmente nas barreiras de comprimento finito, é necessário adicionar um contorno lateral, de modo a evitar a passagem de ruído por estes locais, figura 2.12 [7].

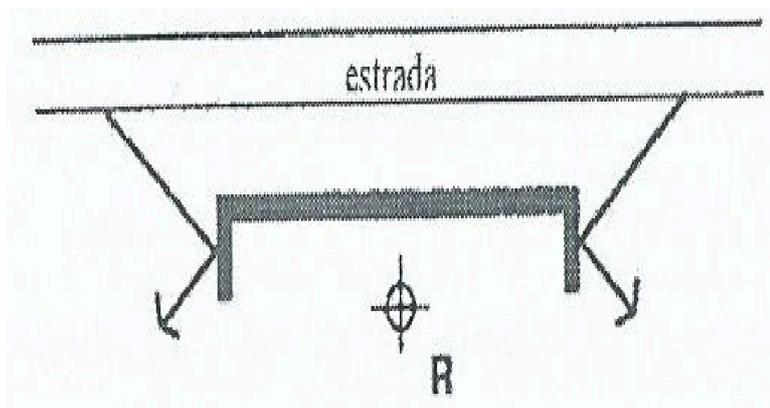


Figura 2.12: Exemplo de uma medida contra o contorno lateral numa barreira finita. [7]

O mesmo acontece aquando da necessidade de criar uma passagem na barreira, pode ser através de uma porta, ou quando necessário, colocar uma barreira paralela com pelo menos duas vezes, a largura do corredor, figura 2.13.

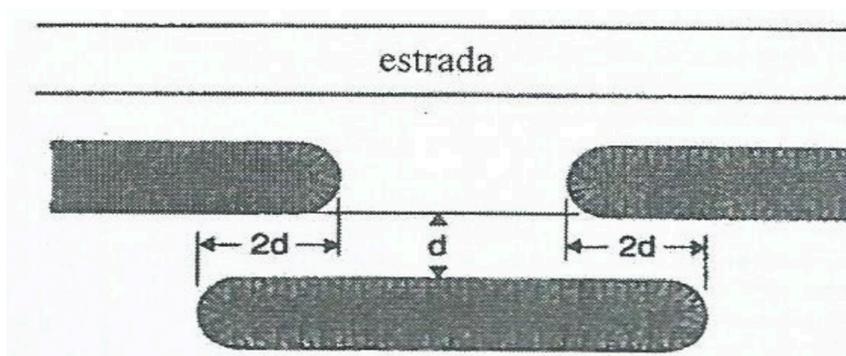


Figura 2.13: Exemplo de abertura numa barreira acústica [7].

Em termos de materiais, as barreiras acústicas podem apresentar uma constituição variada, podendo estas ser construídas em betão, acrílico, painéis metálicos com lã de rocha ou em motas de terra. Estes materiais podem ser utilizados em combinação como por exemplo betão armado e acrílico ou betão com painéis metálicos com face absorvente. Ao topo da barreira pode ainda ser adicionado um remate em material parcialmente absorvente, com aproximadamente meio metro, podendo este apresentar uma configuração em T ou Y, mitigando o ruído em até mais 2 dB [7].

3

Estado da Arte

3.1. Paisagem acústica e percepção do utilizador

3.1.1. Porto

- 1990

O primeiro estudo sobre a qualidade acústica de jardins, no Porto, foi realizado por Carvalho [15], em 1990, e visou criar uma forma de classificar jardins urbanos da cidade segundo o seu carácter acústico através da capacidade dos mesmos de diminuir o nível sonoro da sua envolvente. Esta classificação é fundamentada pelo crescente aumento do ruído citadino, obrigando à necessidade de criação de espaços que promovam o afastamento do cidadão face à realidade citadina envolvente, como o próprio autor refere, o “stress acústico” experimentado quotidianamente. Para o efeito, e de modo a averiguar a situação dos jardins urbanos da cidade do Porto, foram escolhidos diferentes jardins, de modo a constatar a situação acústica dos mesmos. Fazem parte desta análise os jardins da Praça da República, Praça Marquês de Pombal, Praça Mouzinho de Albuquerque, Campo Mártires da Pátria (Cordoaria), Jardim de São Lázaro e a Casa de Serralves [16].

As medições acústicas foram realizadas em Março e Maio de 1990, entre as 15 e as 18 horas, de modo a evitar as horas de ponta. Para o efeito, foram contemplados nas medições três parâmetros, o L_{A10} (nível sonoro excedido em 10% do tempo de medição), caracterizando o ruído de ponta, o L_{A50} (nível sonoro excedido em 50% do tempo de medição, caracterizando o ruído mediano) e, o L_{A90} (nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição), caracterizando o ruído de fundo. As medições foram realizadas na parte mais central de cada jardim, designadas por “medições interiores”, e no local mais ruidoso da periferia do mesmo [16].

Com a análise de resultados, a “Casa de Serralves”, também devido à sua grande dimensão, apresenta os valores mais altos de redução de níveis sonoros, face ao exterior “ruidoso”, na ordem dos 20 dB(A) em oposição ao jardim de São Lázaro, jardim com a menor área em estudo, que apresenta a diminuição de ruído no seu interior mais baixa. Excluindo a “Casa de Serralves”, o jardim urbano que apresenta a redução mais alta é o jardim da Cordoaria. A redução mais notória do nível sonoro, da periferia para o interior dos jardins, é mais preponderante no L_{A10} (ruído de ponta) em que se detetaram reduções de 11 a 15 dB [16].

O critério mais preponderante utilizado pelo autor de modo a fundamentar a criação da classificação acústica foi o limiar tolerável para a inteligibilidade da palavra, ou seja, esta é *boa* ou *aceitável*, se o ruído de fundo for inferior ao nível normal da voz em 5 a 10 dB(A), admitindo ainda a possibilidade de existência de privacidade, em que a diferença deve estar perto dos 15 dB(A). No exterior é admitido que, a um metro, o nível médio da palavra em “voz normal” ronde os 60 dB(A), já para uma “voz moderadamente baixa” ronde os 55 dB(A), descrito no quadro 3.1 [16].

Foi então criada a proposta de classificação de jardins como “zonas de recolhimento acústico” face ao meio exterior, expressa no quadro 3.2. Por fim, e tendo em conta os critérios acima referidos, foram classificados os diversos jardins alvos deste estudo, expressos no quadro 3.3 [16].

Quadro 3.1: Valores referentes à inteligibilidade da palavra e consequente diferença face ao ruído de fundo [16].

Nível de voz dB(A)	Diferença face ao ruído de fundo dB(A)		
	5	10	15
55	50	45	40
60	55	50	45

Quadro 3.2: Proposta de classificação acústica [16].

L_{A50} no interior do jardim dB	Classificação
≤ 40	<i>Ótimo</i>
]40 - 45]	<i>Muito Bom</i>
]45 - 50]	<i>Aceitável</i>
] 50 - 55[<i>Mau</i>
≥ 55	<i>Péssimo</i>

Quadro 3.3: Classificação dos diversos jardins do Porto, analisados segundo o novo critério proposto [16].

Jardins	Classificação como “Jardim Acústico”
Praça da República	<i>Péssimo</i>
Praça Marquês de Pombal	<i>Péssimo</i>
Rotunda da Boavista	<i>Péssimo</i>
Cordoaria	<i>Mau</i>
Jardim de São Lázaro	<i>Péssimo</i>
Casa de Serralves	<i>Ótimo</i>

- 2011

Um estudo realizado em 2011, por Carvalho *et. al* [16], teve como objetivos a caracterização e análise dos níveis sonoros, no interior e no exterior, dos principais jardins da cidade do Porto e questionário sobre a experiência global dos visitantes, por meio de inquéritos, além da comparação com um estudo realizado em 1990 [16]. Para avaliar a alteração ao longo dos 21 anos foram determinados os parâmetros L_{Aeq} , além dos parâmetros L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} . Os resultados dos diferentes parâmetros estão presentes no quadro 3.5 e é de destacar que a variação máxima existente nos diferentes parâmetros, entre o jardim mais ruidoso e o mais silencioso, ronda os 15 dB [15].

Foi ainda apresentada uma proposta de Classificação Acústica de um jardim/parque urbano (CJ), descrito pela fórmula 3.1. A proposta é assente na principal atividade dos visitantes nos parques urbanos, o diálogo. É entendido que um discurso falado a curta distância ronda os 45 dB(A), podendo ainda ser perceptível um ruído de fundo de até 55 dB(A). É ainda pretendido que esta proposta reflita o poder de isolamento que o jardim tem no seu interior face ao ruído exterior, espelhando a sua capacidade de proporcionar um melhor recolhimento acústico para os visitantes [15].

$$CJ = \frac{L_{Aeq\ int} - L_{Aref}}{0,5 * \Delta L_{10} + 0,3 * \Delta L_{A50} + 0,2 * \Delta L_{A90}} \quad (3.1)$$

Onde

$L_{Aeq\ int}$ corresponde ao nível sonoro contínuo equivalente no interior do jardim; L_{Aref} é o nível sonoro de ruído ao qual o discurso falado é inteligível, assumindo como referência 45 dB. ΔL_{A10} , ΔL_{A50} e ΔL_{A90} representam a variação de cada parâmetro, relativamente aos valores obtidos no interior e no exterior dos jardins. O quadro 3.4 é representativo da escala proposta para caracterizar a classificação acústica de um jardim/parque urbano [15].

O quadro 3.5 representa os diferentes parâmetros medidos ao longo do estudo, assim como a referente classificação acústica [15].

Quadro 3.4: Proposta de escala para classificação de jardins (CJ) urbanos [16]

CJ	$\leq 0,2$]0,2-1[]1-2[]2-3[>3
Classificação	<i>Ótimo</i>	<i>Muito Bom</i>	<i>Aceitável</i>	<i>Mau</i>	<i>Péssimo</i>

Quadro 3.5: Valores numéricos dos parâmetros medidos, assim como a classificação acústica, numérica (CJ) dos jardins em estudo [16]

Jardim/Parques	$L_{Aeq\ int}$ (dB)	ΔL_{A10} (dB)	ΔL_{A50} (dB)	ΔL_{A90} (dB)	CJ	Classificação
Praça da República	59,3	3,6	3,5	2,6	4,3	<i>Péssimo</i>
Praça Marquês de Pombal	61,4	5,1	4,0	2,6	3,8	<i>Péssimo</i>
Rotunda da Boavista	58,3	9,6	7,9	6,0	1,6	<i>Aceitável</i>
Cordoaria	58,2	7,4	6,5	3,5	2,1	<i>Mau</i>
São Lázaro	61,4	3,5	2,6	0,9	6,1	<i>Péssimo</i>
Serralves	46,7	18,8	13,5	7,9	0,1	<i>Ótimo</i>
Parque da Cidade	47,2	21,8	16,0	9,5	0,1	<i>Ótimo</i>
Quinta do Covelo	49,5	12,4	10,1	6,9	0,4	<i>Muito bom</i>
São Roque	48,4	7,3	2,3	0,0	0,8	<i>Muito bom</i>
Praça Velásquez	56,2	7,0	4,8	3,1	2,0	<i>Aceitável</i>
Δ máxima	15	18	13	10	4.2	-

Tendo em conta a comparação de resultados entre 1990 e 2011, foi registada uma diminuição média de 7 dB no ΔL_{A10} , 5 dB no ΔL_{A50} e 5 dB no ΔL_{A90} , face ao estudo realizado em 1990, evidenciando uma perda de capacidade de redução do ruído exterior, nomeadamente o ruído de ponta, o mediano e o de fundo, apesar do ruído exterior ter diminuído com o passar dos anos [16].

Em relação aos inquéritos realizados, foi concluído que os diferentes jardins são frequentados maioritariamente por uma população masculina e com idade avançada. O ruído do tráfego rodoviário foi associado a um ruído espetável na paisagem sonora dos jardins urbanos e apenas uma pequena percentagem se sentia incomodada com a sua presença. Em contrapartida, a maioria dos inquiridos disse que esperava a presença desse ruído e gostava de o ouvir. Outra conclusão é a capacidade dos sons

naturais, como o cantar de pássaros ou a ação do vento na folhagem das árvores, de mascarar o ruído rodoviário levando a uma possibilidade de potenciar estes estímulos sonoros, de modo a alterar a paisagem sonora dos diferentes jardins urbanos [16].

3.1.2. Hong Kong

Um estudo realizado por Wong *et al*, em 2004, teve como objetivo a determinação do efeito do ruído nos parques urbanos da cidade de Hong Kong. Foi selecionado um leque de seis jardins de diferentes dimensões espalhados pela cidade, todos eles a fazer fronteira com estradas densamente movimentadas. O ruído rodoviário é preponderante em 90% das medições realizadas ao longo do dia e as medições foram realizadas em diferentes locais do parque, nomeadamente complexos desportivos, parques infantis e zonas de lazer e relaxamento. O estudo teve como referência dois estudos, o primeiro no Japão e outro na Turquia, onde foram medidos o nível sonoro de 50 a 70 dB(A) e de 70 a 90 dB(A) respetivamente [17].

Foi concluído que o nível sonoro limite estipulado pela Organização Mundial de Saúde para áreas urbanas ao ar livre (L_{Aeq} igual a 50 dB), foi excedido, sendo um L_{Aeq} superior a 70 dB, dominante em 10% dos parques de grandes dimensões e 1% em parques de pequenas dimensões. De forma mais detalhada, o L_{Aeq} varia pouco ao longo do dia, apresentando valores de 64 dB durante o período da manhã, 63 dB durante o meio dia e 64 dB ao fim da tarde, resultados concordantes com o perfil geral do tráfego rodoviário.

Existiram ainda variações do nível sonoro dentro dos próprios parques, fundamentado por variações topográficas e estruturas de betão que funcionam como barreiras acústicas. Já nos parques de maiores dimensões, é mais preponderante a atenuação por divergência geométrica [17].

O segundo objetivo desse projeto era a determinação, através da utilização de inquiridos, da perceção acústica do jardim por parte dos utilizadores, determinando em que medida o ruído era um fator preponderante na apreciação do mesmo. Apenas 24% dos inquiridos afirmaram que o jardim era considerado *ruidoso* e 35% afirmou que era um ambiente *silencioso*. A nível das fontes sonoras que promoviam o ruído nos jardins, 43% afirmou que a fonte mais frequente era o ruído rodoviário e 31% afirmou que era o nível de conversação. Do total, 54% afirmou que o ruído rodoviário era o ruído dominante e desses 80% afirmaram que não era um fator que influenciasse o usufruto do jardim. Por fim, a maioria dos inquiridos afirmou que existem fatores mais preponderantes para a utilização do jardim, como estruturas de suporte existente e a riqueza biológica do mesmo. Já os fatores que apresentam maiores queixas são a limpeza e as condições em que se encontra o jardim, sendo apenas 5% do total a percentagem referente às pessoas que dizem que se sentem insatisfeitas com o ruído. As soluções apresentadas pelo autor para mitigar o efeito do ruído é a reestruturação da disposição do jardim, ou seja, colocar as atividades mais ruidosas, como campos de jogos, em locais mais ruidosos do jardim, utilizando também a topografia do terreno para funcionar como barreira, assim como a implementação de mais espaços verdes, cascatas e chafarizes que promovam o mascaramento do ruído [17].

3.1.2. Brasil

Um estudo realizado por Zannin *et al*. em 2005, teve como objetivo a avaliação acústica de seis jardins públicos da cidade de Curitiba no Brasil. Todas as medições foram realizadas ao fim da tarde, de modo a abranger o período horário do dia em que o pico de ruído é superior, potenciado pelo aumento de visitantes e tráfego rodoviário nas redondezas. O principal objetivo das medições foi comparar os valores obtidos com o valor limite de L_{Aeq} no estado de Curitiba, segundo a lei 10625 (EPA de 2002),

o L_{Aeq} imposto pelo decreto nº 12 do Conselho da cidade de Roma e pelo DIN 18005 de 1987 da Alemanha, sendo os valores de 55, 50 e 50 dB respetivamente. O quadro 3.6 representa o L_{Aeq} medido nos diferentes jardins assim como a distância existente ao centro da cidade de Curitiba [18].

No quadro 3.6 pode comprovar-se que os três primeiros jardins em estudo apresentam um valor de L_{Aeq} superior ao permitido pelas três diferentes legislações, estando todos inseridos num ambiente urbano denso. Em contrapartida, os três últimos jardins estão legais sendo uma das principais razões a sua distância ao centro da cidade. O autor toma como principais fatores para o intenso ruído, as más condições do piso, a média de idades dos veículos brasileiros (média de catorze anos) e a fraca manutenção dos mesmo, aliados a um mau estilo de condução, mudanças bruscas de velocidade e utilização desmesurada da buzina. Em nota final, o autor toma como possíveis medidas de mitigação do ruído, a melhor planificação dos jardins públicos, longe de zonas de tráfego intenso ou uma delimitação da área circundante, ou seja, num perímetro à volta do jardim deveriam ser implementadas medidas que mitigassem o ruído como redução da velocidade permitida e proibição do uso de buzina. Os cidadãos também deveriam ser informados sobre os níveis sonoros presentes nos jardins, assim como os seus riscos para a saúde [18].

Quadro 3.6: Valores médios de L_{Aeq} medidos nos diferentes jardins e distância relativa ao centro da cidade de Curitiba [18]

Jardim	Distância ao centro da cidade (km)	L_{Aeq} (dB)
Botânico	2,5	67,0
Passeio público	1,0	64,8
São Lourenço	3,5	59,1
Tanguá	6,0	50,3
Barigui	5,0	50,6
Tingui	7,0	50,5

3.1.3. Itália

Um estudo realizado por Brambilla, em 2006, teve como objetivo, além da medição física do ruído em oito jardins urbanos, três em Nápoles (Comunale, Floridiana e Poggio) e cinco em Milão (Forlanini, Nord, Sempione, Trenno) e Veneza, foi também realizada uma avaliação dos diferentes parâmetros subjetivos e a sua influência na perceção acústica dos utilizadores face ao ruído urbano [19].

O autor utilizou como indicadores acústicos, o L_{Aeq} , e a correspondente banda de 1/3 de oitava, indicadores de nível sonoro estatísticos como o L_{A95} e o SEL de eventos específicos. Através da análise dos resultados o L_{Aeq} apresentou valores médios entre os 52 a 62 dB, já o parâmetro estatístico L_{A95} deu uma variação na gama entre os 40 e os 50 dB [19].

Foi também avaliada a perceção acústica dos frequentadores dos diferentes jardins por meio de inquéritos. De todos os inquiridos, as razões mais frequentes para visitar o parque foi para encontrar um ambiente tranquilo e o “convívio” com a natureza, em oposição ao fator menos relevante, o silêncio. Em Milão o fator mais votado foi a vegetação em oposição a Nápoles em que o fator mais determinante foi o ar limpo. Quando inquiridos diretamente sobre o ruído, a grande maioria afirmou que não era um fator determinante para o corrente uso do jardim, sendo os sons mais esperados de ser ouvidos as vozes e o latir dos cães. Já de ruído, o mais esperado é o ruído rodoviário e o ruído da passagem de aviões. A figura 3.1 representa os resultados obtidos dos inquéritos, representado a azul os inquéritos de Nápoles e a vermelho os de Milão [19].

Por fim, o autor defende a necessidade de utilizar os descritores físicos do ruído aliados a outro tipo de parâmetros que não caracterize o ruído de forma direta e numérica, de modo a criar uma ligação mais

fluída entre os valores numéricos do ruído e a verdadeira percepção do ruído por parte das pessoas que frequentam o jardim [19].

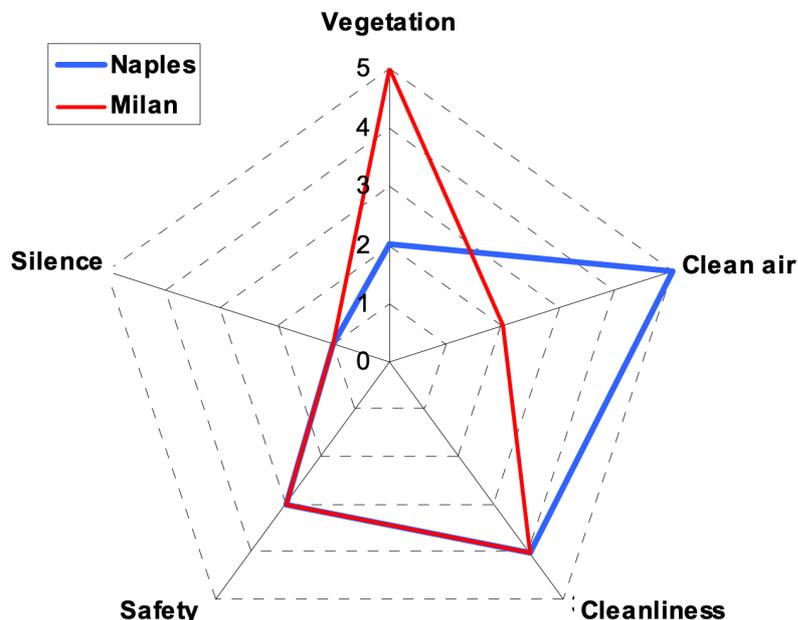


Figura 3.1: Classificação de diferentes fatores segundo a opinião dos inquiridos nos jardins de Nápoles e Milão [19]

3.1.4. Roterdão

Tendo em consideração a Diretiva Europeia de ruído ambiental (2002/49/CE) [20], Weber realizou um estudo, em 2011, que avaliasse a suscetibilidade ao ruído em três jardins da cidade: o jardim Sidelingepark, um parque de tamanho médio que se encontra próximo de uma autoestrada, utilizado maioritariamente para atividades recreativas e musicais, na zona norte e para lazer e descanso na zona sul; o jardim Wijkpark Oude Westen, um parque de pequenas dimensões situado no centro da cidade sendo a sua entrada virada para uma rua de muito movimento; por fim, o parque Zuiderpark, o maior dos três, fica localizado no sul, utilizado maioritariamente para práticas desportivas e musicais [21].

Foram elaborados dois tipos de estudo, um estudo físico em que seria quantificado o ruído através de medições e por inquéritos de modo a averiguar também qual a percepção dos utilizadores. Foram utilizados os indicadores L_{Aeq} , o L_{A95} , o L_{A50} e o parâmetro $L_{A10}-L_{A90}$. Os resultados das medições realizadas nos diferentes jardins estão no quadro 3.7 [21].

Quadro 3.7: Nível sonoro dos vários indicadores utilizados nas medições nos diferentes parques em Roterdão [21]

Jardim	L_{Aeq} (dB)	L_{A95} (dB)	L_{A50} (dB)	$L_{A10}-L_{A90}$ (dB)
Sidelinepark	58,5	55,0	57,9	3,7
Wijkpark Oude Westen	54,1	46,8	50,0	7,2
Zuiderpark	54,7	45,9	49,8	10,1

O jardim de Sidelingepark apresenta os indicadores com os níveis sonoros mais altos dos três parques. Estes números são suportados pela teoria de este jardim estar próximo de uma autoestrada. Também o facto do indicador $L_{A10}-L_{A90}$ ser mais baixo, se deve ao facto de o ruído da autoestrada se manter constante durante a semana e ao fim de semana como é representado na figura 3.2. Já os parques de Wijkpark Oude Westen e Zuiderpark apresentam um nível sonoro bastante equivalente, embora o indicador $L_{A10}-L_{A90}$ do jardim de Zuiderpark seja elevado, devido a existência de uma linha de metro de superfície presente nas proximidades [21].

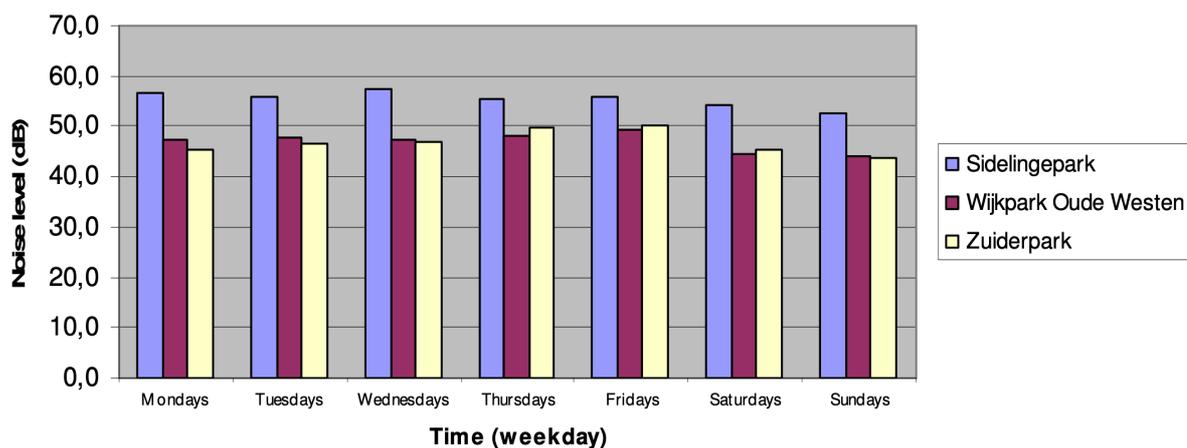


Figura 3.2: Variação do indicador L_{A95} ao longo dos dias da semana nos diferentes jardins da cidade de Roterdão [21]

Na segunda parte do estudo foram realizados inquéritos a 75 visitantes dos diferentes jardins, pedindo que avaliassem a acústica do jardim, o fator de satisfação e a avaliação geral numa escala de 1 a 10, sendo este último a avaliação mais alta, quadro 3.8 [21].

Quadro 3.8: Medição do nível sonoro e avaliação subjetiva dos utilizadores [21]

Jardim		Sidelinepark	Wijkpark Oude Westen	Zuiderpark
L_{Aeq} (dB)	Média	58,5	54,1	54,7
	Desvio padrão	1,2	3,8	3,5
Avaliação ambiente acústico	Média	3,0	2,88	2,48
	Desvio padrão	0,74	0,83	0,87
Avaliação fator de satisfação	Média	2,17	2,12	1,63
	Desvio padrão	0,48	0,52	0,65
Avaliação geral	Média	6,86	7,06	7,76
	Desvio padrão	0,84	1,3	0,76

3.1.5. Nigéria

Devido ao rápido e desorganizado crescimento urbano da Nigéria, o efeito do ruído tem sido uma problemática crescente nos países de terceiro mundo em desenvolvimento. Com o aumento desmesurado do ruído, Bouziri e Berkouk em 2018, realizaram um estudo que averiguasse o efeito nocivo do ruído

nos habitantes e na biodiversidade, como aves, pequenos mamíferos e insetos, da cidade de Biskra. O estudo é direcionado para a poluição sonora presente em jardins públicos da cidade de Biskra (zona quente e árida do sudoeste da Nigéria), tendo como principal objetivo a medição do ruído em sete diferentes jardins públicos e comparar com os valores de referência por diferentes países e organizações. O quadro 3.9 apresenta alguns valores do nível sonoro máximo recomendado em jardins urbanos e praça públicas de alguns países e organizações de relevo internacional [22].

Quadro 3.9: Nível sonoro máximo recomendado em jardins urbanos [22]

País / Organização	Nível sonoro de referência em jardins urbanos dB(A)
Alemanha	55
Egito	45
Índia	50
Organização Mundial Saúde	55
Agência de Proteção Ambiental dos EUA	45
Nigéria	45

Os resultados obtidos das medições *in situ* estão descritos no quadro 3.10 e variam entre os 56,4 e os 62,6 dB(A), valores muito acima dos valores indicados pela legislação urbana da Nigéria e pelas legislações internacionais, evidenciando uma drástica poluição acústica destes jardins. É ainda destacada a proximidade das vias com mais tráfego rodoviário com as estações de medição que apresentam os valores registados mais altos. Os autores concluem que devem ser encontradas formas eficazes para mitigar o efeito do ruído nos jardins públicos, apontando como possível medida a aplicação de barreiras acústicas e aumentar a vegetação nos perímetros dos jardins. [22]

Quadro 3.10: Nível sonoro médio nos diferentes jardins da cidade de Biskra [22]

Jardim	L _{Aeq} dB(A)
Bachir Ben Nacer	60,6
5 Juillet 1962	58,2
Zidane Brahim	60,2
1er Novembre	60,9
Landon	54,8
Larbi Ben Mhidi	62,6
Si el Haoues	61,1

3.2. Técnicas de mascaramento do ruído

- Coreia do Sul

Um estudo realizado por You e Jeon, em 2010, teve como objetivo a avaliação e efeito de diferentes estímulos sonoros produzidos por água e de que modo a sua presença poderia mascarar o ruído rodoviário de uma via próxima. Foi possível determinar que a grande maioria dos inquiridos apontaram como som favorito, o som produzido pela água, indicando-o como um som agradável e relaxante, tornando-o como um elemento fundamental numa paisagem urbana. As técnicas de mascaramento de ruído foram inicialmente utilizadas para ambientes empresariais, de modo a manter um certo nível de privacidade entre os trabalhadores, foi mais tarde utilizada esta técnica para um ambiente exterior de modo a mascarar ruídos urbanos [23].

O autor definiu três diferentes zonas de ação para o mascaramento, a zona de influência, a zona de exclusão (destinadas a locais mais silenciosos e recatados) e a zona de deteção, zona esta que o ruído rodoviário se poderia sobrepor ao efeito de mascaramento, sendo destinada a atividades mais ruidosas.

Como tal, foram realizadas medições acústicas em diferentes tipos de cursos de água, nomeadamente uma fonte com chafariz, dois riachos diferentes, uma queda de água e uma cascata, sendo os valores obtidos do L_{Aeq} , L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} apresentados no quadro 3.11 [23].

Quadro 3.11: L_{Aeq} e parâmetros estatísticos dos níveis de pressão sonora do tráfego rodoviário e de diferentes estímulos sonoros produzidos por ação da água [23]

		L_{Aeq}	L_{A10}	L_{A50}	L_{A90}
Tráfego rodoviário		78	79	78	78
Estímulos sonoros produzido por água	Fonte	82	85	82	65
	Riacho 1	72	73	72	71
	Riacho 2	80	81	80	79
	Queda de água	80	80	80	79
	cascata	81	81	81	80

Foram realizadas duas experiências diferentes, tendo como objetivo medir a eficácia de mascaramento da água face ao ruído rodoviário, para tal foi utilizado o sistema (sinal/ ruído) em que a água é o sinal e a fonte sonora rodoviária é o ruído [23].

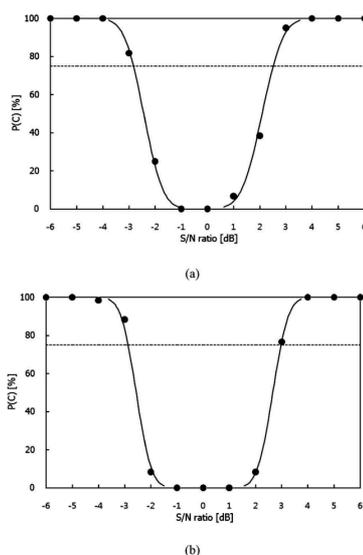


Figura 3.3: Resultados da experiência 1, com ruído rodoviário de 55 dB (a) e ruído rodoviário de 75 dB (b) [23]

Na primeira experiência, os inquiridos eram submetidos a ruído rodoviário com uma variação entre 55 e 75 dB(A), enquanto que os diferentes sons da água eram incorporados com uma variação entre os 49 e os 81 dB(A), sendo o principal objetivo a determinação do estímulo mais alto obtendo-se os resultados do rácio S/R, presentes na figura 3.3, sendo de destacar que 75% dos inquiridos apontaram diferenças de ratio S/R de 3 dB [23].

A segunda experiência, determinação do rácio S/R ideal, foram apresentados vários tipos de sons de água e ruído rodoviário a níveis de pressão diferentes, investigando quais os sons mais suscetíveis de produzir um efeito de mascaramento. Novamente, os valores de tráfego rodoviário foram fixados nos 55 e 75 dB e os valores de som produzido por água a variar entre os 49 e 61 dB para o primeiro caso, e entre os 69 e 81 dB para o segundo. Foram apresentados valores de rácio S/R que variavam novamente

de -6 a +6 com variação de 3 dB como na experiência 1. Foram introduzidos cinco tipos de som produzidos por água, nomeadamente um chafariz, dois riachos, uma queda de água e uma cascata. Os valores do rácio S/R estão presentes na figura 3.4 [23].

Com a conclusão da experiência 2, foi possível determinar que existe uma avaliação consistente entre os inquiridos, aproximadamente 95%, havendo, por isso, um consenso geral sobre a preferência de som ideal para o efeito de mascaramento, tanto para o ruído a 55 dB, presente na figura 3.4 (a), como a 75 dB, presente na figura 3.4 (b). Com a análise da figura 3.4 (a), é possível determinar que o rácio de -3 dB é o mais escolhido para valores de ruído de 55 dB. Também foi concluído que se existir diferenças grandes entre o som da água e o ruído rodoviário, leva a um aumento de nível de pressão sonora que varia entre 1 e 7 dB, conduzindo a uma perceção negativa que causaria algum grau de irritação. Por fim, os inquiridos preferiram os sons do riacho 1, representado pela sigla (S1) e do chafariz para efeitos de mascaramento. Quando o ruído rodoviário foi fixado nos 75 dB, os inquiridos, em todos os tipos de som produzido por água, preferiram o nível sonoro cerca de 3 dB abaixo do nível produzido pelo ruído rodoviário [23].

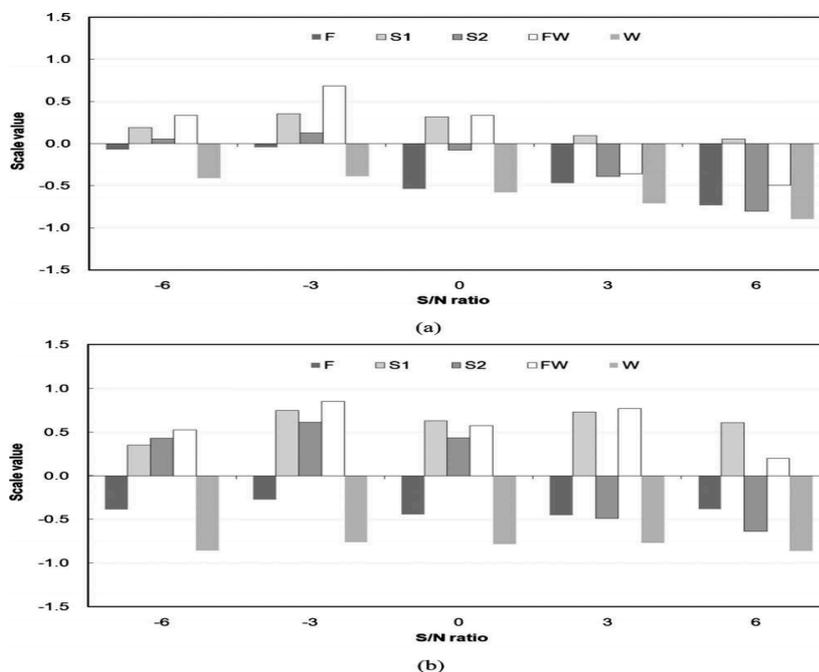


Figura 3.4: Resultados da experiência 2, com ruído rodoviário de 55 dB (a) e ruído rodoviário de 75 dB (b) [23]

Como conclusões, foram analisadas as escalas e características temporais de modo a avaliar a diferença entre o nível de pressão sonora dos diferentes tipos de estruturas suscetíveis de produzir som resultante da ação da água face ao ruído rodoviário, assim como o rácio S/R. É de destacar a diferença do $L_{Aeq,10s}$ entre o som da água e o ruído rodoviário que ronda os 3 dB, sendo escolhidos de modo preferencial, sons produzidos por ação da água com um rácio de -3 dB, quando o ruído rodoviário é fixado nos 55 e nos 75 dB. Os sons mais eficazes no efeito de mascaramento foram os produzidos por riachos e quedas de água, caracterizados por uma elevada energia e produção de som com baixa frequência constante [23].

3.3. Disposição espacial

Um estudo realizado por Yuan e Mei, em 2006, teve como objetivo o estudo da disposição espacial e a incorporação de diversos elementos nos jardins clássicos chineses. Para tal, foi estudada a redução e

caraterísticas sonoras de 9 jardins espalhados pelo território Chinês. Numa primeira abordagem, foram estudadas as principais caraterísticas, nomeadamente a localização em locais calmos. Cada jardim tem um design próprio e específico para cada caso, estes são delimitados por muros altos e as entradas apresentam uma geometria em caracol, aumentando a redução sonora no interior face ao exterior. Em cada jardim foi medido o L_{Aeq} , tanto no interior como no exterior, de forma a criar um panorama geral sobre a redução sonora existente, presente na figura 3.5 (podendo ser visível uma redução considerável do ruído exterior (linha contínua) face ao ruído interior (linha tracejada)) [24].

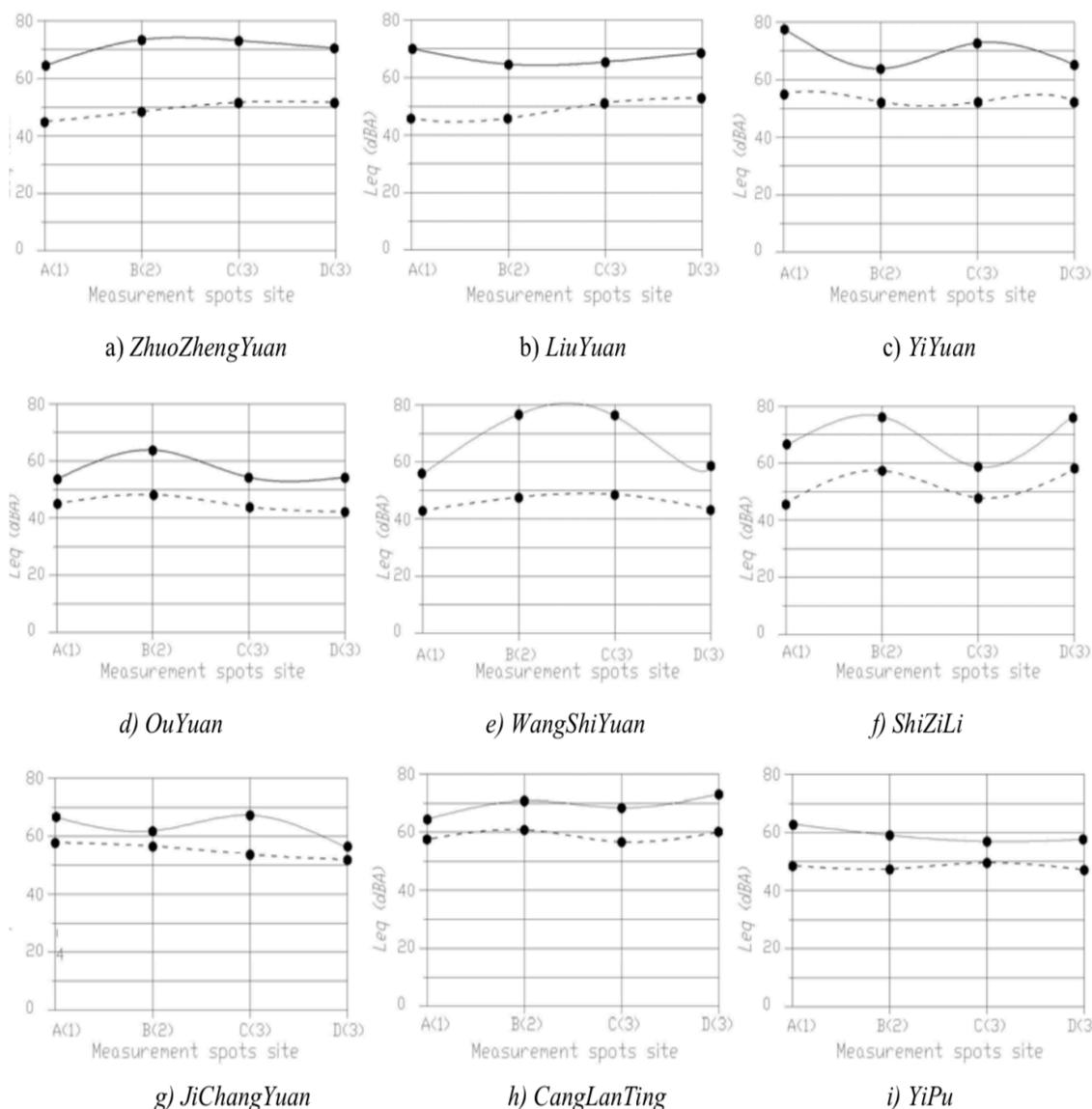


Figura 3.5: Valores de L_{Aeq} exterior (linha contínua) e interior (linha tracejada) dos diferentes jardins em estudo [24]

Analisando a geometria do planeamento dos jardins é de notar a presença de diversas caraterísticas, nomeadamente a incorporação de sistemas rochosos com incorporação de quedas de água, figura 3.6, com diversos níveis, promovendo a criação de diversas quedas de água e pequenas poças, aliado a espaços abertos por detrás da queda de água, criando uma caixa de ressonância, de modo a promover uma amplificação sonora [24].



Figura 3.6: Exemplo de uma queda de água num jardim clássico chinês [24]

Outras características importantes passam pela incorporação de densa vegetação, que cria uma ilusão de redução de ruído ao mesmo tempo que promove o aumento do número de seres vivos, nomeadamente pássaros e insetos, assim como animais de maior porte, nomeadamente patos, coelhos e veados, criando uma interação única com a natureza. A incorporação de bambu permite aumentar o som do vento, elemento muito apreciado na cultura chinesa. A incorporação de diversas estruturas arquitetónicas que funcionam como “pavilhões acústicos” onde se realizam diversos espetáculos musicais, estruturados de forma a criar cavidades de ressonância que propagam o som por todo o jardim de forma a juntar o carácter artístico com a natureza envolvente. Existiu ainda uma preocupação evidente em criar uma ligação emocional entre o utilizador e a natureza, criando um ambiente harmonioso com vegetação, estruturas rochosas, de forma a aumentar a velocidade do vento, lagos e altos muros de modo a abstrair ao máximo do ruído exterior [24].

3.4. Medidas de mitigação na fonte emissora

Além das medidas de mitigação do ruído no recetor, podem ser implementadas medidas que reduzam o nível sonoro do emissor, nomeadamente nas vias e nos veículos. Deste modo, um livro publicado na Holanda em 2007, intitulado “*Traffic noise in Europe*”, faz uma compilação de diversas técnicas que poderão ser implementadas de modo a reduzir eficazmente o ruído produzido por tráfego rodoviário. O *The Dutch Noise Innovation Programme (IPG)* calculou que por cada decibel reduzido na fonte, seriam poupados 100 milhões de euros em despesas nacionais em barreiras acústicas e isolamento acústico de edifícios [25].

De forma a criar um panorama geral do potencial da redução sonora possível por influência das medidas de mitigação na fonte, a figura 3.7 dá uma perspetiva geral de como a atuação individual nas diferentes fontes de ruído, nomeadamente pneus, tráfego, superfície do pavimento e velocidade, traduzem um aumento eficaz na redução sonora, cerca de 70% numa situação ideal [25].

Também a nível legal foram feitos esforços para reduzir o ruído do tráfego rodoviário, nomeadamente na década de 1970 com a criação da Diretiva (70/157/CEE) [26] que cobria o ruído produzido por veículos motorizados, legislação esta que foi pouco eficaz devido à falta de controlo e rigor na sua execução e também devido ao aumento do tráfego rodoviário. Devido às problemáticas mencionadas

anteriormente, foi implementada, em 2002, a Diretiva (2002/49/CE) [20] cujos principais objetivos eram a monitorização do ruído ambiental, localização de focos de ruído, execução de programas de informação pública como forma de sensibilização e por fim a obrigação, por parte das autoridades locais, na criação de mapas de ruído e planos de ação com o intuito de reduzir a exposição ao ruído nas grandes cidades [25].

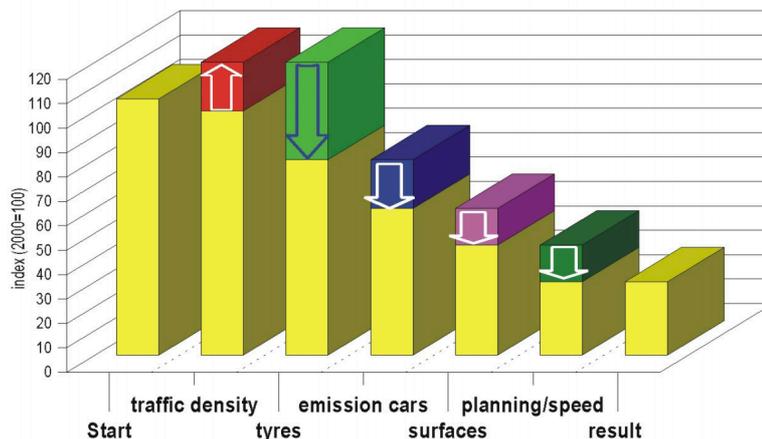


Figura 3.7: Potencial redução sonora possível [25].

Com a evolução do mercado, foram aparecendo alternativas mais fiáveis para pavimentos com forte desempenho acústico, nomeadamente pavimentos de camada fina, camada dupla, porosos e poro elástico.

O ruído produzido pelo contacto pneu/pavimento é resultante de diferentes fatores nomeadamente o contacto do pneu no pavimento devido a irregularidades das duas superfícies (pneu e pavimento), que levam à vibração do pneu e conseqüentemente do piso. O ruído aerodinâmico provocado pelo ar que é empurrado pelo pneu contra o piso, levando à criação de fenómenos de ressonância, a adesão resultante do contacto das duas superfícies que, quando cessa, forma um efeito de sucção. Por fim, existe outro efeito de amplificação sonora resultante do contacto do limite do pneu com o piso que cria um efeito semelhante a um megafone [25].

Embora existam várias classificações acústicas para pisos betuminoso. As intervenções no piso tornam-se uma medida eficaz com um custo-benefício elevado, reduzindo investimentos de até 80% em barreiras acústicas. No quadro 3.11 está indicada a capacidade de redução sonora de dois tipos de pavimento [25].

Quadro 3.11: Redução sonora devido a pavimentos de camada fina e dupla em zonas urbanas e rurais [25]

Pavimento	Urbano	Rural	
	50 km/h	70 km/h	110 km/h
Camada dupla	3,0 dB(A)	4,0 dB(A)	5,0 dB(A)
Camada fina	1,5 dB(A)	2,0 dB(A)	2,0 dB(A)

O ruído rodoviário pode ainda ser reduzido através da imposição de limites de velocidade, mais eficazmente para velocidades entre os 50 e os 80 km/h. O quadro 3.12 mostra a potencial redução sonora teórica para os diferentes limites de velocidade impostas, assim como possíveis restrições de tráfego,

medida possível com incentivos à utilização de transportes públicos, bicicletas ou andar a pé. O quadro 3.13 faz alusão a diferentes medidas que podem ser impostas, de modo a “normalizar” e restringir hábitos de condução mais agressivos em zonas sensíveis ao ruído, como rotundas, lombas, sinalização, restrições horárias e de zona [25].

Quadro 3.12: Redução sonora possível devido à imposição de limites de velocidade e redução de tráfego [25]

Limites de Velocidade		Redução do Tráfego	
km/h	Redução em dB(A)	Porcentagem (%)	Redução em dB(A)
De 110 para 100	0,7	10	0,5
De 100 para 90	0,7	20	1,0
De 90 para 80	1,3	30	1,6
De 80 para 70	1,7	40	2,2
De 70 para 60	1,8	50	3,0
De 60 para 50	2,1	75	6,0
De 50 para 40	1,4		
De 40 para 30	0		

Quadro 3.13: Possíveis opções e medidas possíveis de ser implementadas e potencial redução sonora máxima [25]

Medidas de Controlo de Tráfego	Potencial de Redução Sonora (L_{Aeq}) (dB)
Dimensionamento do volume de trânsito para a zona em questão	4
Zona de 30 km/h	2
Rotunda	4
Limite de velocidade combinado com sinalização sobre ruído	1-4
Restrição noturna para veículos pesados	7
Bandas sonoras em termoplástico	4
Lombas circulares	2
Lombas de topo liso	6

4

Metodologia

4.1. Normas e Procedimentos

4.1.1. NP ISO 1996

A atual legislação de ruído ambiente que enquadra a adoção da norma NP ISO 1996 é o Regulamento Geral do Ruído (RGR) aprovado pelo Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro, retificado pela Declaração de Retificação nº 18/2007, de 16 de março, e alterado pelo Decreto-Lei nº 278/2007, de 1 de agosto. O RGR, para além de estabelecer os indicadores de avaliação de ruído ambiente e valores limite associados, contém algumas disposições particulares relativas ao procedimento de medição, cuja disposições estão presentes na NP ISO 1996. A NP ISO 1996 está dividida em duas partes designadas por “*Grandezas fundamentais e métodos de avaliação*” [27] e “*Determinação dos níveis de pressão sonora*” [28].

Para o presente estudo é necessário salientar e definir alguns conceitos e termos abaixo descritos.

4.1.2. Intervalo de tempo de referência

Intervalo de tempo referente à avaliação do som, sendo distribuída por três períodos distintos [29]:

- Diurno: 07h00-20h00;
- Entardecer: 20h00-23h00;
- Noturno: 23h00-07h00.

4.1.3. Indicadores

Existem diversos indicadores que caracterizam eventos acústicos. São utilizados três indicadores, todos eles utilizando a malha de ponderação A, com exceção na análise de sons impulsivos de alta energia ou sons de baixa frequência [29]:

- nível de exposição sonora com ponderação em frequência;
- nível máximo de pressão sonora com uma dada ponderação no tempo e em frequência;
- nível de pressão sonora de pico para uma dada ponderação em frequência.

O ruído produzido pelo tráfego rodoviário, como expresso no capítulo 2, pode ser classificado como um som contínuo ou a junção de acontecimentos individuais. Quando o ruído é considerado contínuo

(elevada densidade de tráfego), deve ser descrito pelo nível sonoro contínuo equivalente, com ponderação do filtro A, num intervalo de tempo. Quando se considera a junção individual (densidade baixa de tráfego), o ruído é representado pela soma de todos os acontecimentos individuais. Os indicadores de ruído na comunidade fornecem o método para avaliação do ruído ambiente devido a fontes individuais ou combinação de fontes. O nível sonoro contínuo equivalente é o descritor utilizado. Poderão também ser especificados outros indicadores tais como o nível máximo de pressão sonora, o nível de exposição sonora (corrigido) ou o nível de pressão sonora de pico [29].

4.1.4. Ponderação em frequência

De forma corrente, a utilização da malha de ponderação A é indicada para avaliar todo o tipo de fontes sonoras, salvo exceção de sons impulsivos de elevada energia ou sons com elevadas componentes de baixa frequência, assim como não é recomendado a utilização deste para medições de níveis de pressão sonora de pico [29].

4.1.5. Intervalo de tempo relevantes

Os intervalos de tempo de referência devem ser ajustados à atividade humana e variações de funcionamento da fonte, ou seja, de modo a obter um valor de nível sonoro contínuo equivalente fidedigno. As medições devem ser realizadas numa altura em que o ruído emitido pela fonte e condições operativas sejam o mais parecido possível com as condições normais [29].

4.1.6. Fontes sonoras e respetivas condições de funcionamento

De forma analítica e concisa, as fontes sonoras e seu estilo de funcionamento devem ser devidamente caracterizadas e ajustadas à legislação em vigor, ou seja, deve ser recorrido ao RGR de forma a, através da caracterização feita, utilizar os indicadores corretos e os períodos de referência. Deve ainda incluir uma análise qualitativa do ambiente acústico, de forma a validar os níveis sonoros registados [29].

4.1.7. Condições de propagação

Derivado das condições meteorológicas presentes, enquanto estão a decorrer as medições, os níveis de pressão sonora podem ser adulterados, para tal, os limites de ruído devem ser baseados em valores médios para as condições de propagação relevantes ou para uma condição única específica [29].

4.1.8. Incertezas

Todos os resultados finais, tanto das medições como de cálculos, devem ser números inteiros e sem incerteza associada, de modo a serem comparados com os valores estabelecidos no RGR [29].

4.2. Processo de medição do ruído

O guia elaborado em 2011 pela Agência Portuguesa do Ambiente (8), enquadrando a NP ISO 1996 e o Regulamento Geral do Ruído, promove uma metodologia detalhada de como proceder a medições de ruído [29].

O equipamento deverá ser:

- Utilização de sonómetro homologado pelo Instituto Português da Qualidade;
- Apresentar certificado válido anual de calibração;
- Utilização preferencial de equipamento de classe 1;
- Antes e depois de cada medição deve ser realizada uma calibração com um calibrador portátil com a obtenção de um conseqüente desvio não superior a 0,5 dB, caso ultrapasse, os resultados não serão válidos.

De forma a realizar medições no exterior, os pontos de medição devem estar afastados pelo menos 3,5 m de qualquer superfície refletora, com a exceção do solo. Dependendo do objetivo das medições, o sonómetro deve estar entre 3,8 e 4,2 m acima do solo, caso seja elaborado mapas de ruído municipal (artº 7º RGR), ou entre 1,2 e 1,5 m acima do solo ou do nível de cada piso de interesse [29].

Em primeiro lugar é importante caracterizar o conceito de amostra, este é caracterizado por um intervalo de tempo de observação que pode ser composto por uma ou mais medições. Dependendo do tipo de fonte é necessário analisar as suas características, por exemplo, as fontes sonoras podem ser caracterizadas pelo seu regime de sazonalidade (diferença entre semana e fim de semana, ou verão e inverno), sendo, por isso, importante estudar o funcionamento prévio da fonte, de forma a delimitar um plano de ação e o melhor período de referência, devendo, para isso, haver medições em pelo menos dois dias distintos em cada regime, ou seja, para cada período de referência devem ser realizadas duas amostras com pelo menos uma medição em cada uma [29].

O indicador base do ruído é o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} [29].

A duração de cada medição é determinada pela estabilização do sinal sonoro, sendo esta determinação a cargo do responsável pela medição. Normalmente, devido à flutuação da intensidade das fontes e variação das condições de propagação sofridas no exterior, as medições não devem ter um período inferior a 15 minutos [29].

4.3. Parâmetros de análise

Como já foi abordado no capítulo 2, o “nível de pressão sonora” é obtido através da expressão 2.7 ou 2.8 e é expresso em *decibel* (dB), deve ser ponderado no tempo e em frequência, através da ponderação da malha A passa a ser designado de “nível sonoro” [29].

O “nível máximo” equivale ao valor máximo do nível de pressão sonora, ponderado num tempo e em frequência, para um determinado intervalo de tempo, sendo também expresso em *decibel* (dB).

O “nível percentil”, ou nível excedido em N por cento do tempo, correspondendo a um parâmetro estatístico associado ao percentil de densidade de probabilidade, sendo que L_N designa neste caso o nível que, num dado intervalo de tempo, é excedido em N% da duração temporal desse intervalo, tal como descrito no subcapítulo 2.1.6 [29].

No presente trabalho é importante distinguir três parâmetros estatísticos de relevo, sendo eles L_{A1} , L_{A50} e L_{A99} que representam, respetivamente, o nível sonoro (dB) excedido em 1, 50 e 99 % do tempo de medição. De forma mais detalhada, representam o nível de ruído de ponta (L_{A1}), o nível de ruído mediano (L_{A50}), e por fim, o nível de ruído de fundo (L_{A99}).

O “nível de pressão sonora de pico”, traduzido pela expressão 4.1., corresponde ao valor máximo instantâneo do nível de pressão sonora num dado intervalo de tempo, determinada com uma ponderação em frequência normalizada ou numa determinada banda de frequências, expresso em *decibel* (dB) [29].

$$L_{\text{peak}} = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{\text{peak}}}{P_0} \right)^2 \quad (4.1)$$

O “nível de pressão sonora contínuo equivalente”, já abordado no capítulo 2, traduz-se pela expressão 2.15. e é expresso em *decibel* (dB).

Os “níveis de avaliação” são relativos a todo o nível sonoro, seja ele calculado ou medido, que tenha sido corrigido. Estes podem obter-se pela adição de correções aos níveis medidos ou previstos, de forma a respeitar certas características particulares do ruído como a tonalidade ou a impulsividade. O quadro 4.1 representa alguns parâmetros de análise utilizado em medições de ruído ambiente.

Quadro 4.1: Parâmetros de análise de ruído utilizado em medições [27]

Grandeza	Símbolo
Nível de pressão sonora, ponderado A	L_{Ap}
Nível máximo de pressão sonora, ponderado A	L_{Amax}
Nível percentil, ponderado A	L_{AN}

4.4. Equipamento

4.4.1. Sonómetro

De forma a caracterizar o campo sonoro, tanto em espaços abertos como em espaços fechados, são utilizados instrumentos de medição cujo objetivo é traduzir o nível de pressão sonora em informação legível e de fácil compreensão, sendo um instrumento de relevo para a verificação do cumprimento das normas e regulamentos presentes na legislação nacional [11].

Desta forma, o instrumento de medida mais utilizado para medir níveis de pressão sonora é o sonómetro. Esta cadeia de medição é maioritariamente composta por [11]:

- Transdutor (microfone): converte a pressão sonora num sinal elétrico;
- Sistema de amplificação de sinal;
- Circuito de ponderação em frequência (utilização de um filtro, por exemplo o filtro A);
- Circuito de obtenção de valores eficazes, através de um conversor analógico ou digital;
- Mostrador.

Atualmente, os sonómetros são comercializados com um sistema único de medição integrado e podem ser não-integradores ou integradores, operando em tempo real ou não. Os não-integradores dão informação em cada instante após integração com a constante temporal específica e os segundos dão informação para um intervalo de tempo de medição definido pelo operador. É de destacar a diferença entre a operação em tempo real ou não, ou seja, nos sonómetros mais avançados, permite que, para um sinal sonoro, sejam analisadas todas as suas características ao mesmo tempo, nomeadamente parâmetros descritivos (L_{eq} , L_{min} , L_{max} , L_{50} , L_{95} , etc.), assim como os níveis de pressão sonora em todas as bandas de frequência. Já os sonómetros que não operam em tempo real, só é possível analisar um parâmetro de cada vez, ou seja, caso seja necessário medir o nível de pressão sonora por frequência ou os parâmetros

descritivos. Estes devem ser medidos de forma independente o que, para fontes sonoras não estacionárias, podem traduzir em adulteração de resultados. As figuras 4.1 e 4.2 representam, respetivamente, esquemas de funcionamento de um sonómetro não-integrador e um integrador [11].



Figura 4.1: Esquema de uma cadeia de medição de um sonómetro não integrador [11]

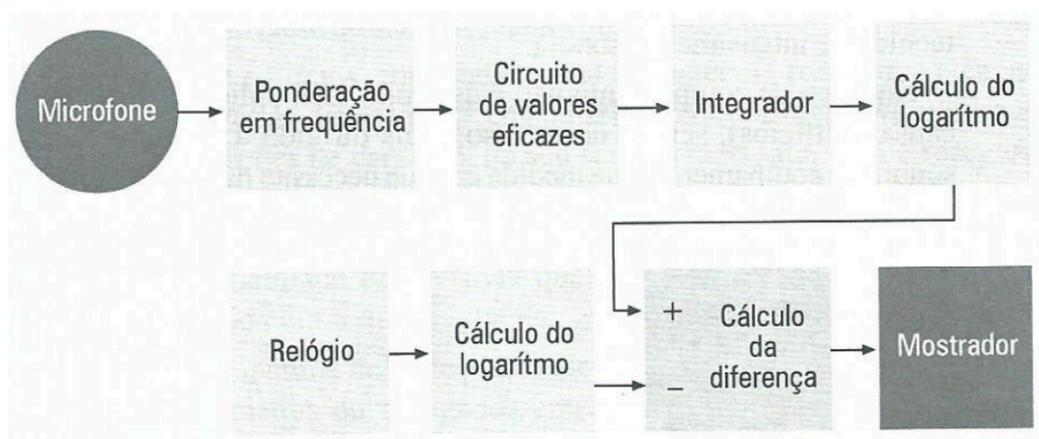


Figura 4.2: Esquema de uma cadeia de medição de um sonómetro integrador [11]

De forma concisa, os sonómetros podem ser classificados e agrupados em quatro classes distintas, variando a finalidade da sua utilização e o seu grau de precisão [11].

- **Classe 0:** corresponde aos padrões de laboratório;
- **Classe 1:** para utilização em laboratório e *in situ* quando o ambiente acústico se encontra controlado;
- **Classe 2:** apenas medições *in situ*;
- **Classe 3:** correspondente a um equipamento com baixa exatidão.

Como em todas as áreas, existe uma vasta gama de sonómetros de diferentes tipos e marcas. Para este trabalho foram utilizados produtos da marca *Brüel & Kjaer* [21], nomeadamente o sonómetro *B&K 2260*.

4.4.2. Microfone

O microfone, assim designado quando o meio de transmissão é o ar, funciona como transdutor, convertendo a variação de pressão sonora num sinal elétrico. Devido à sensibilidade requerida para este tipo de instrumentação, estes devem cumprir exigências técnicas necessárias de modo a obter um grau aceitável de exatidão, para tal, devem fornecer uma resposta fiável a nível de frequência, gama dinâmica, diretividade e estabilidade. Devem ainda ser tomados em consideração outros parâmetros, nomeadamente as condições ambientais no local de medição de modo a que os limites de operação não sejam excedidos, ou seja, parâmetros como a humidade relativa, temperatura e velocidade do ar devem ser medidos e considerados, de modo a promover um correto funcionamento instrumental [32].

De forma geral, o microfone condensador é o de utilização mais corrente, sendo o mais indicado para as condições experimentais descritas.

Os microfones podem apresentar diferentes formas e dimensões, estes geralmente são encontrados no mercado com diâmetros de 1, 1/2, 1/4 e 1/8 polegadas, sendo também necessário ter em atenção outros parâmetros na escolha de um microfone: a frequência, a sensibilidade, a gama de funcionamento e as características direcionais [32].

Devido a possíveis interferências na propagação das ondas sonoras induzido pela presença do microfone, existem três subdivisões de microfones, desenhados especialmente para a compensação das perturbações nos diferentes campos sonoros. Essas subdivisões são [32]:

- Microfone de pressão: desenhados para que a pressão seja plana ao longo da frequência;
- Microfone para campo de incidência aleatória: para medições em campos reverberantes;
- Microfones de campo livre: desenhados para que a sua resposta em frequência seja plana para a incidência de 0°.

4.4.3. Calibrador



Figura 4.3: Exemplificação de utilização de um calibrador num sonómetro [33]

De forma a ter a maior precisão e fiabilidade possível nos resultados obtidos, é necessário a realização de verificações técnicas ao equipamento, nomeadamente aos medidores de níveis sonoros, reajustando a sua sensibilidade à pressão sonora. É então necessário recorrer a um instrumento (denominado calibrador), uma fonte sonora que emite um nível de pressão sonora de frequência bem definida, sendo associado ao microfone. Dependendo das condições e tipo de medição, este nível de pressão pode ser ajustado, sendo que, normalmente emite uma frequência de 1 kHz com um erro associado de $\pm 0,2$ dB. Os calibradores estão ao abrigo da ISO 17025 dos Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaios e calibração. A figura 4.3 representa um modelo de calibrador da marca *Brüel & Kjær*, e a forma de utilização num sonómetro [33].

4.4.4. Filtro

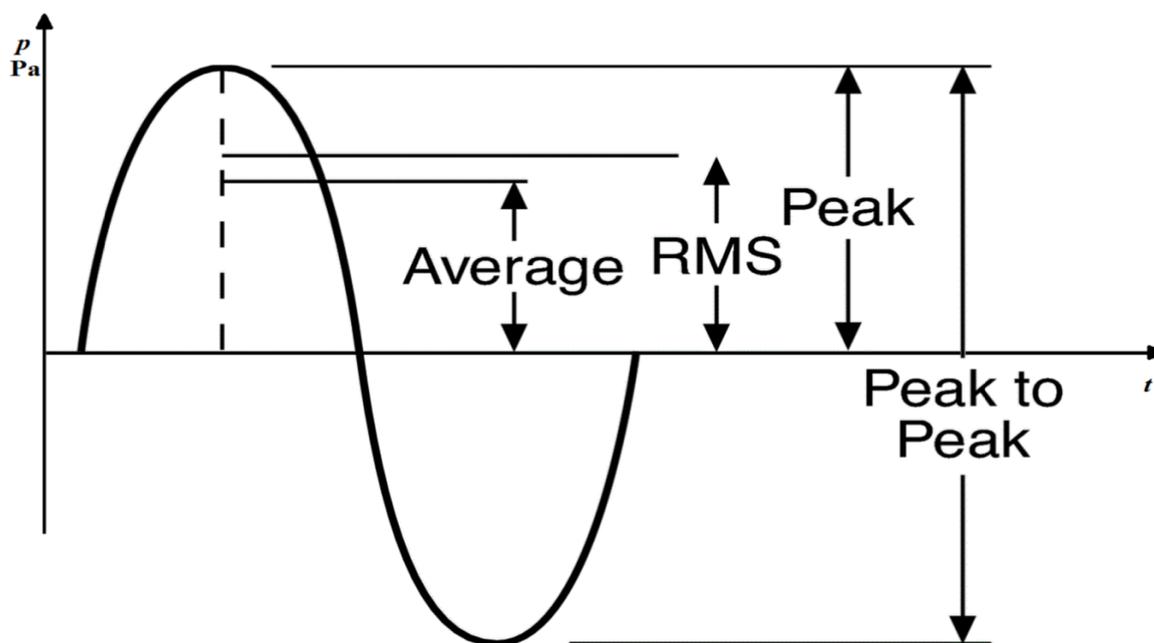


Figura 4.4: Relação entre o valor eficaz (RMS), o valor médio (Average) e o valor de pico (Peak) [34]

Segundo os diagramas presentes na figura 4.4, é possível verificar que antes da passagem pelo circuito de valores eficazes o sinal é ponderado em frequência e amplificado, ajustando o sinal à percepção do ouvido humano. Como já foi abordado no capítulo 2, nomeadamente no subcapítulo 2.1.5, existem diferentes tipos de filtros com finalidades diferentes. O filtro utilizado pelos sonómetros e que se assemelham mais ao ouvido humano é o filtro com ponderação (A). Estes filtros já estão incorporados no circuito eletrónico dos sonómetros. Geralmente este tipo de aparelhos e no domínio da Acústica na globalidade são utilizadas bandas de frequência com largura de 1/1 e 1/3 de oitava [34].

4.4.5. Detetor

O detetor é um circuito necessário para retirar a informação útil a um sinal sonoro, nomeadamente o valor eficaz (RMS) ou do sinal instantâneo mais elevado (valor de pico). Para tal, para o cálculo analítico do valor eficaz de um sinal sonoro é utilizado a expressão 4.4 [32].

$$P_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} \quad (4.4)$$

De forma gráfica em forma sinusoidal, a relação entre o valor eficaz, o valor de pico e o valor médio é esquematizado na figura 4.4.

O modo de funcionamento do detetor é através da utilização de uma média temporal, “média exponencial”, para definir os limites do sinal. Os sonómetros mais comuns têm utilizações médias

temporais com constantes de tempo igual a 125 ms e 1 s, designando-se por *fast*, *slow* e o terceiro modo *impulse*, este último com uma constante temporal de 35 ms e um tempo de decaimento de pico de 1,5 s [32].

No quadro 4.2 estão ilustradas as diferentes constantes de tempo utilizados pelos sonómetros assim como as suas referentes aplicações.

Quadro 4.2: Constantes de tempo utilizadas pelos sonómetros e suas definições [35]

Constante de tempo de medição	Definição
<i>Slow</i>	Permite calcular o tempo de integração para a obtenção do valor médio quadrático (RMS) da pressão sonora com um tempo de integração mais longo que nivela as flutuações rápidas do nível sonoro detetado
<i>Fast</i>	Permite calcular o tempo de integração para a obtenção do valor médio quadrático (RMS) da pressão sonora, permitindo uma visualização detalhada das flutuações do nível sonoro detetado
<i>Impulse</i>	Tempo de subida rápido, permite medir o nível de pressão de pico.

4.5. Abordagem às medições *in situ*

4.5.1. Equipamento

Para a caracterização acústica *in situ* do Jardim Botânico do Porto foi utilizado o seguinte equipamento:

- Sonómetro da *Brüel & Kjær*, modelo de medição do nível sonoro preciso nº 2236 do tipo 1, modelado e otimizado para medições de ruído ambiental e ocupacional. O sonómetro vem instalado com um microfone tipo 4188 para campo livre de ½ polegada com uma sensibilidade de -30 dB re 1V/Pa ±2dB e sensível a uma gama de frequência entre 8 Hz e os 12,5 kHz ±2dB, tendo sido também utilizada uma proteção corta vento para o microfone [36];
- Para a fixação do sonómetro foi utilizado um tripé de fixação portátil Gitzo, com adaptação para instrumentos da *Brüel & Kjaer*, estando o sonómetro colocado a uma distância do solo entre os 1,2 e 1,5 metros de altura;
- De forma a georreferenciar os locais onde foram realizadas as medições foi utilizado o *Google Earth*®.

4.5.2. Parâmetros de análise

De modo a abordar a panorâmica global do ruído no Jardim Botânico do Porto, foi necessário medir diversos parâmetros *in situ*, utilizando a constante de tempo em modo *fast*, para tal, foram abordados ao longo das medições os parâmetros L_{Aeq} , L_{A1} , L_{A5} , L_{A50} , L_{A95} e L_{A99} .

4.5.3. Procedimento

De forma a realizar as medições de forma mais fidedigna possível foi seguido o seguinte procedimento:

- Tendo em consideração a influência das condições meteorológicas nas medições, estas não poderiam ser realizadas em dias de precipitação nem com intensidade do vento superior a 5 m/s, como tal, as medições foram realizadas sexta-feira, dia 25 de Outubro de 2019 e sexta-feira, dia 10 de Janeiro de 2020;

- Após uma abordagem com os responsáveis do jardim, foi estipulado o melhor horário para realização das medições, ou seja, entre as 14:00h e as 18:00 h como sendo o período em que o ambiente seria mais ruidoso, tendo em atenção o horário de funcionamento do Jardim Botânico;
- De forma a obter dados comparativos, foram escolhidos quatro pontos de medição, nomeadamente dois em locais considerados mais ruidosos, com linha de visão direta para a Via de Cintura Interna e dois pontos em locais mais abrigados da fonte sonora preponderante, locais mais silenciosos com algum tipo de barreira para a Via de Cintura Interna;
- Com a seleção dos pontos de medição, foram tidos em consideração locais com pouca afluência de visitantes, de modo a minimizar a sua influência, foi ainda tido o cuidado de instalar o equipamento a pelo menos 3,5 m de possíveis superfícies refletoras;
- Em cada ponto de medição, o sonómetro foi posicionado entre 1,2 a 1,5 m da altura do solo, utilizando um tripé, foram ainda registadas as coordenadas GPS do local;
- Para obter valores fidedignos dos parâmetros em análise, foram utilizados tempos de medição que rondavam os 15 minutos em cada ponto;
- Foi ainda realizado um registo fotográfico no decorrer das medições para futura memória e descrição.

5

Porto - A cidade e os espaços verdes

5.1. História do Porto

O plano da cidade do Porto do século XIX é caracterizado por uma forte industrialização, mantendo a próspera atividade mercantil. Afirmou-se como centro económico da zona norte do país, como entreposto atlântico e como uma cidade moderna, aberta a uma nova vida social, política e cultural, devido aos seus teatros, cafés, feiras, livrarias, assim como aos seus passeios públicos e jardins românticos. Com a abertura da estrada da circunvalação em 1895 e a inclusão das freguesias Aldoar, Nevogilde e Ramalde, é então definido o atual território da cidade do Porto [37].

O principal ponto de viragem da cidade do Porto decorreu no início do século XX, caracterizado por um acentuado crescimento demográfico, assim como uma expansão urbanística, caracterizada por uma ideia de planeamento urbanístico, focada nas exigências do crescente trânsito motorizado. É de destacar os planos mais famosos, o "Plano Regulador" de Antão de Almeida Garrett (1952), o "Plano Diretor" de Robert Auzelle (1962) e, na última década do século, o "Plano Diretor Municipal" (1993) [37].

As primeiras décadas do século XX foram caracterizadas por uma forte expansão industrial, assim como por um êxodo rural, ambos fatores que levaram a uma elevada expansão da cidade. A conclusão da Avenida da Boavista em 1915, uma artéria com 5 km de extensão, levou a expansão da cidade em direção ao oceano aproximando também a cidade do importante Porto de Leixões, inaugurado em 1895. Já no centro da cidade, a criação da Avenida dos Aliados com a consequente demolição dos edifícios do Paço do Concelho e do Bairro do Laranjal, catapultou esta zona para se tornar um local de referência no panorama económico da cidade, com a implementação do polo financeiro. Mais tarde, em 1957, a transferência da Câmara Municipal, anteriormente sediada no Paço Episcopal, onde funcionava desde 1916, para a Avenida dos Aliados, confirma a sua centralidade e importância do local no panorama financeiro e administrativo [37].

No pós-guerra, o urbanismo da cidade sofreu uma grande influência da corrente da "Carta de Atenas" publicado em 1941, cujo fundamento era a divisão da cidade em zonas exclusivas e dedicadas às quatro funções básicas necessárias para a manutenção de uma cidade, nomeadamente habitar, trabalhar, lazer e circular, dominado também por construção em bloco com amplos espaços na envolvente, em oposição ao conceito tradicional de cidade em que as diferentes funções se misturavam e em que a rua ou as praças se mostravam como o elemento básico de organização urbanística [37].

Devido ao crescimento, são criadas novas infraestruturas, como a Zona Industrial de Ramalde, a Ponte da Arrábida, figura 5.1, a Via Rápida de ligação a Leixões, o Aeroporto de Pedras Rubras, a Via de Cintura Interna, as pontes de São João (ferroviária-1991) e Freixo (rodoviária-1995), infraestruturas essas que vêm redefinir e catapultar a expansão da cidade para novas zonas até agora pouco desenvolvidas [37].



Figura 5.1: Ponte da Arrábida com ligação entre o Porto e Gaia [41]

Com o início dos anos de 1950, existiu um aumento exponencial de bairros de caráter social em zonas até agora de caráter rural e agrícola, estando algumas destas zonas dentro dos limites interiores da cidade do Porto. Apareceram, então, bairros como o de Fernão de Magalhães, Pasteleira, Ramalde, Francos, entre muitos outros, urbanizações estas que se instalaram em locais até à data de predominância rural, como Campanhã, Paranhos, Lordelo do Ouro, Aldoar e Ramalde [37].

Na segunda metade do século, o perfil tradicional urbano da cidade alterou profundamente. A dominância das torres sineiras e a predominância das construções graníticas foram colocadas de parte em prol da utilização de betão armado, de forma mais acentuada a partir dos anos 60/70. O perfil de construção seria, maioritariamente composto por prédios em altura. Também o crescimento do setor terciário levou ao aparecimento de novos centros na cidade, como por exemplo, a Rotunda da Boavista, onde diversas empresas e bancos estavam sediados [37].

As últimas décadas do século foram marcadas pela perda de população no centro histórico e cidade, em geral, maioritariamente, por população jovem. Esta população “migrou” para as periferias e subúrbios da cidade, locais onde o custo de vida era mais baixo. Este “êxodo” levou à criação de diversos problemas, nomeadamente a um aumento descontrolado das zonas periféricas com pouco rigor de planificação urbanística [37].

O início do novo milénio trouxe nova vida à cidade do Porto. Logo em 2001 esta cidade em conjunto com Roterdão, foi eleita capital europeia da cultura, existindo, por isso, um forte investimento em espaços públicos, nomeadamente na Praça da Batalha e Praça D. João I, assim como no jardim da Cordoaria. Além da reabilitação destes espaços, foram ainda edificadas novas construções como o Edifício Transparente e a Casa da Música, figura 5.2. Foram ainda realizados investimentos estruturais como a criação do Metro do Porto, aberto em 2002 e continuamente aumentado ao longo dos anos, modernização e alargamento do Aeroporto Francisco Sá Carneiro (devido ao aumento do número de turistas estrangeiros a entrar na cidade), assim como a construção de vias rápidas e conclusão do anel da Via de Cintura Interna, em 2007, tornando mais fácil a fixação de pessoas mais longe do seu local de trabalho, facilitando o acesso ao centro e, conseqüente, descongestionamento do trânsito geral da cidade.

Em oposição ao crescimento cultural e estrutural sentido no início do milénio, a população do centro continuou a diminuir. Esta diminuição levou ao encerramento de estabelecimentos comerciais e a uma geral degradação da cidade. Em 2004 foi criada a “Porto Vivo- Sociedade de Reabilitação Urbana” com a tarefa de reverter esta situação. Com a eleição do Porto como melhor destino turístico europeu durante alguns anos, o centro ganhou nova vida e tem sido gradualmente reabilitado. [37]



Figura 5.2: Casa da Música do Porto [38]

Além do seu centro histórico classificado como Património Mundial pela UNESCO, a cidade do Porto apresenta uma história rica e um papel importante no panorama europeu e mundial. Conhecida por ter dado nome a Portugal, quando ainda se designava *Portus Cale*, pelo Vinho do Porto, pela típica gastronomia, nomeadamente as “tripas à moda do porto” que deu a tão famosa alcunha de “tripeiros” aos seus habitantes. Além da riqueza patrimonial e histórica a cidade apresenta ainda uma forte projeção desportiva, pelas suas principais equipas, o Futebol Clube do Porto e o Boavista Futebol Clube. Também é uma referência no plano educativo, uma vez que, a Universidade do Porto está colocada entre as 200 melhores universidades do Mundo e entre as 100 melhores da Europa [37].



Figura 5.3: Vista panorâmica da Zona Ribeirinha da cidade do Porto, classificada como património mundial pela UNESCO [38]

5.2. Organização territorial e caracterização social

A cidade do Porto está situada no norte de Portugal, mais concretamente, segundo o mapa da figura 5.4, na região NUTS do Grande Porto. Segundo o Decreto-Lei nº 244, de 5 de Novembro de 2002, emitido em Diário da República, a Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS), está dividida em três níveis. O nível I é constituído por três unidades inseridas no território continental ou em Região Autónoma, tanto nos Açores como na Madeira. O nível II é constituído por sete unidades, das quais cinco em território continental com as delimitações presentes no nível I. Por fim, o nível III é constituído por trinta unidades, das quais vinte e oito estão em território continental e duas em Região Autónoma, com a nova delimitação presente no nível II. De referir que uma unidade representa um município [39].

A cidade do Porto é atualmente a sede da Área Metropolitana do Porto (AMP), agrupando 17 municípios, albergando 1 757 413 habitantes numa área de 1900 Km², existindo uma densidade populacional média de 1098 hab/km², tornando assim a AMP a décima terceira área urbana mais populosa da União Europeia e a segunda mais populosa de Portugal. O Porto e a Área Metropolitana do

Porto constituem o núcleo estrutural da Região Norte, que tem uma população de 3 689 609 habitantes (Censos de 2011), sendo, portanto uma das regiões (NUTS II) mais populosa de Portugal. Compreende 8 sub-regiões ou unidades de nível III (NUTS III). O Porto, juntamente com os concelhos vizinhos de Vila Nova de Gaia e de Matosinhos, forma a Frente Atlântica do Porto que constitui o núcleo populacional mais urbanizado da Área Metropolitana, situado no litoral, delimitado a oeste pelo Oceano Atlântico, com a influência estrutural do estuário do Rio Douro, que une Gaia ao Porto [39].



Figura 5.4: Mapa com divisões NUTS de nível III em Portugal Continental [39]



Figura 5.5: Densidade Populacional da cidade do Porto [40]

A Área Metropolitana do Porto é uma das zonas mais industrializadas da Região Norte, onde se localizam grande parte dos mais importantes grupos económicos do país, tais como a Altri, o Grupo Amorim/Corticeira Amorim, o Banco BPI, a BIAL, a EFACEC, a Frulact, a Lactogal, o Millennium BCP, a Porto Editora, a Sonae, a Unicer ou o Grupo RAR. A Associação Empresarial de Portugal está,

também, sediada no Porto. A Região Norte é a única região portuguesa que exporta mais do que importa. A figura 5.5 representa as 17 freguesias, que constituem a cidade do Porto assim como a respetiva densidade populacional por divisão administrativa [38].

5.3. Via de Cintura Interna (VCI)

A Via de Cintura Interna, também designada por VCI, figura 5.6, é a principal artéria rodoviária do Porto e Gaia, sendo a via rodoviária de maior importância da cidade, aliviando e descongestionando o tráfego do centro de ambas as cidades, assim como a distribuição de acesso a diferentes zonas residenciais, industriais ou autoestradas, tendo como principais vias de acesso a Ponte da Arrábida e a Ponte do Freixo. A VCI, inaugurada em 1963 e concluído o anel em 2007, é formada, maioritariamente, ao longo dos seus 21 km de extensão, por 3 faixas de rodagem em cada sentido, separadores centrais em betão, radares de controlo de velocidade, e proteções acústicas, nomeadamente barreiras acústicas e material absorvente colocadas de forma estratégica ao longo da mesma, como exemplificado na figura 5.7 [42].



Figura 5.6: Representação esquemática da Via de Cintura Interna, que circula o grande Porto e Vila Nova de Gaia [43]

Para além do melhoramento circunstancial das vias de acesso, a Via de Cintura Interna apresenta algumas falhas, principalmente em termos de segurança, com curvas acentuadas. Além da segurança, os moradores circundantes estão expostos a níveis de ruído prejudicial para a saúde [42].



Figura 5.7: Exemplo de proteção acústica ao longo da VCI [44]

Tendo em consideração o relatório do segundo semestre de 2019, realizado pelo Instituto de Mobilidade e dos Transportes, no troço Arrábida Norte - Bessa Leite, troço esse que atravessa a periferia do Jardim Botânico do Porto, passam em média 113 mil carros diários. De forma mais detalhada, o quadro 5.1 apresenta as médias diárias de veículos que atravessam o segmento Ponte da Arrábida/Nó Bessa Leite, entre 2014 a 2019. Os campos com traço não têm valor [45].

Quadro 5.1: Média diária de veículos que atravessam o segmento Ponte da Arrábida/Nó Bessa Leite de 2014 a 2015 [45]

ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	-	104411	104718	108926	108575	109 263
Fevereiro	-	108503	106913	110647	110918	110 180
Março	-	11873	109904	112901	112143	110 388
Abril	-	112456	112275	112744	114361	110 607
Mai	-	114103	113450	117326	118449	116 317
Junho	-	113048	112732	117643	117024	113 487
Julho	-	117358	116430	119430	117457	-
Agosto	-	107183	109936	107308	112983	-
Setembro	-	111660	115633	116188	116278	-
Outubro	111761	111952	112183	114918	114520	-
Novembro	108430	111720	112517	114948	110437	-
Dezembro	110336	109815	112101	108464	110989	-

5.4. O Porto e os espaços verdes

5.4.1. Espaços verdes Urbanos e habitats urbanos

A zona metropolitana do Porto está dividida em três zonas bem delimitadas e com distintas características especiais. A Zona 1, delimitada a vermelho no mapa da figura 5.8, representa a zona histórica do Porto, englobando o núcleo central da cidade e a Foz Velha, caracterizada pelas maiores “Áreas de frente urbana contínua consolidada”, devido à elevada densidade edificada e conseqüente falta de espaço livre, sendo característico destas áreas os espaços verdes de menores dimensões. A Zona 2, delimitada entre a zona 1 e a Via de Cintura Interna e a poente na zona mais litoral, também chamada de Foz Nova, é uma área constituída na sua grande maioria por “Área de frente urbana contínua em consolidação”, em que a densidade de edificação é inferior à Zona 1, levando à existência de espaços verdes de dimensão superior, sendo o caso do Jardim Botânico do Porto. A Zona 3, também denominada Anel Exterior, é maioritariamente constituído por “Área de habitação do tipo unifamiliar” e “Área de edificação isolada com prevalência de habitação coletiva”. Das três zonas é a que apresenta menor densidade edificada e conseqüente maior área destinada a espaços verdes, sendo o caso dos Jardins da Casa de Serralves e o Parque da Cidade. É evidente, através da análise da tipologia das diferentes zonas, uma relação de aumento gradual dos espaços verdes com o afastamento do centro histórico da cidade em direção às diferentes zonas da periferia [46].

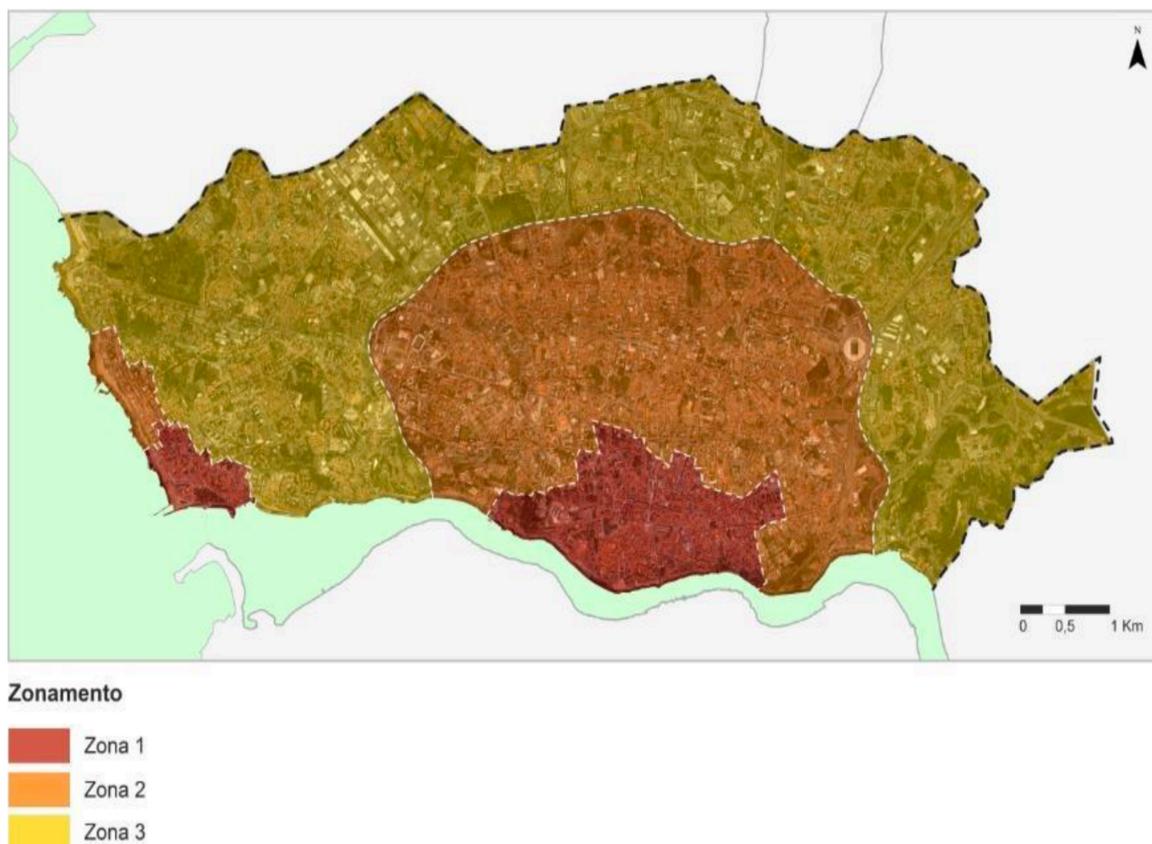


Figura 5.8: Mapa da delimitação da cidade do Porto por zonas referentes a características dos espaços verdes. [46]

Os espaços verdes urbanos são espaços exteriores, dominados principalmente por vegetação, estando presente em áreas não edificadas com componente paisagística e ecológica, havendo uma complexidade de variáveis no seu planeamento, nomeadamente a sua acessibilidade, a sua relação com construções edificadas, a sua função, a sua tipologia e a sua permeabilidade. Os espaços verdes de carácter público apresentam relevância no contexto ecológico e social, aliando a natureza a uma elevação da qualidade de vida e bem-estar nos cidadãos [46].

No estudo realizado em 2014, por Farinha-Marques *et al* [47], foram distinguidos onze tipos de espaços verdes na cidade do Porto, nomeadamente: matas urbanas, espaços verdes expectantes, espaços verdes de cultivo, parques e jardins de espaço público, espaços verdes privados de valor patrimonial; espaços verdes associados a equipamentos, espaços verdes associados a urbanizações, praças arborizadas ou ajardinadas, espaços verdes associados a eixos de circulação principal, espaços verdes associados a ruas, coberturas ajardinadas (de acesso público). Destes onze tipos, é de destacar os parques e jardins de acesso público, pois representa a classe em que se insere o Jardim Botânico do Porto. Por definição, estes espaços são caracterizados por espaços não edificados, com forte presença de vegetação cuidadosamente planificada, de acesso público destinada a diversas atividades recreativas, com o solo permeável em pelo menos 35% da sua área [47].

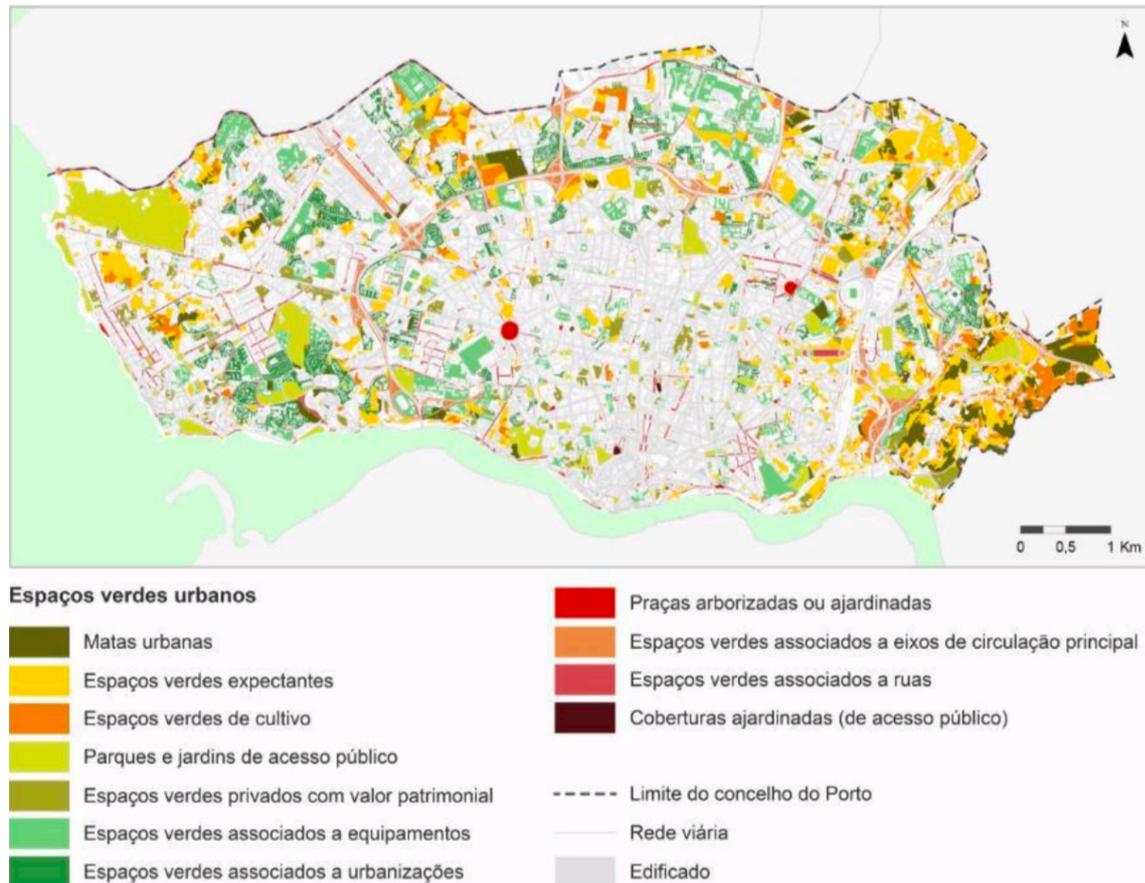


Figura 5.9: Mapa com as diferentes zonas verdes da cidade do Porto [46].

Através da análise da figura 5.9, estão evidenciados os diferentes tipos de espaços verdes presentes na cidade do Porto. É evidente o grande défice deste género de espaços presentes no centro, sobretudo quando comparado com a fronteira periférica da cidade. É de destacar também a clara assimetria dos diferentes tipos de espaços verdes, ou seja, uma grande densidade de matas urbanas e espaços verdes de cultivo na área nascente da cidade, em oposição à concentração de espaços verdes associados a urbanizações e equipamentos na zona poente, sendo apenas contrastada pelas áreas do parque da cidade e dos Jardins de Serralves [46].

Além da importância dos espaços verdes na qualidade de vida dos cidadãos, eles são também habitats e abrigo de diversas espécies. Atualmente, mesmo com a alta densidade urbanizada e edificada, existem 89 espécies de vertebrados documentadas na cidade do Porto. Destas, 69 são aves e representam 23 % de todas as espécies de aves presentes no distrito, 7 espécies de anfíbios e 7 de répteis, totalizando um total de 70 e 54 %, respetivamente, de todo o distrito e 6 espécies de pequenos mamíferos e roedores. Devido à proximidade com o rio Douro e o oceano Atlântico, existe uma crescente procura de habitat por parte de aves marinhas, como é o caso da Garça e o Corvo-marinho. A figura 5.10 representa a relevância de cada espaço verde, nomeadamente a aglomeração e quantidade de espécies que estes espaços albergam. De destacar a importância do Jardim Botânico do Porto que além da elevada riqueza vegetal, alberga mais de 30 espécies de vertebrados [46].

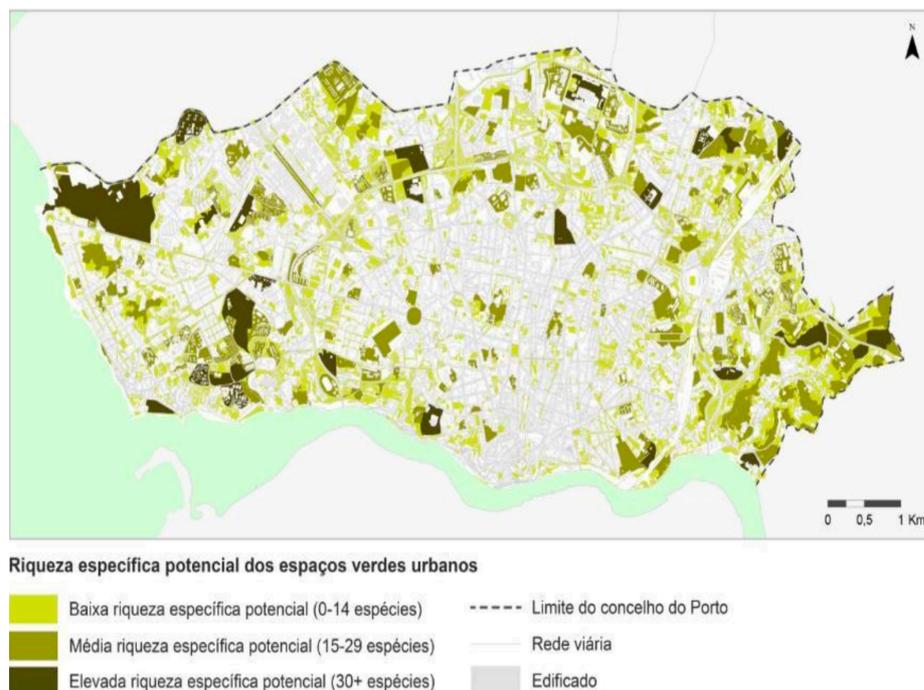


Figura 5.10: Mapa da diversidade de espécies presente nos diferentes jardins do Porto [46]

5.4.2. Jardim Botânico do Porto

A história do Jardim Botânico do Porto começou em 1837, quando Passos Manuel estabeleceu por decreto, a criação do mesmo, tendo sido finalmente criado em 1866, no antigo Convento das Carmelitas. Em 1903 foi deslocado para a Cordoaria por um período reduzido de tempo. Aquando da aquisição da Quinta do Campo Alegre, figura 5.11, situada na Rua do Campo Alegre, número 1191, figura 5.12, pelo Estado português, o Professor Américo Pires de Lima com a ajuda de Frankz Koepp, sob ordem da Universidade do Porto, inspirados pelos traçados da vegetação e jardins característicos das casas de recreio do final do século XIX, procederam à criação, em 1951, do espaço que originará o atual Jardim Botânico do Porto. Com a construção da Via de Cintura Interna do Porto, a Quinta do Campo Alegre ficou reduzida a apenas 4 ha dos originais 12 ha, tendo apenas restado os jardins principais e alguma zona de mata, sendo mais tarde incorporados novos jardins, nomeadamente de plantas suculentas, aquáticas e um arboreto. [48]



Figura 5.11: Entrada da casa pertencente à Quinta do Campo Alegre (esquerda) [49], e foto antiga do jardim principal (direita) [50]



Figura 5.12: Atual localização do Jardim Botânico do Porto, a vermelho a fronteira que delimita o Jardim Botânico [51]

Devido ao seu elevado estado de degradação, o Jardim Botânico do Porto teve encerrado de 1983 até 2001. Durante este período foi intervencionado no sentido de mitigar a degradação do mesmo, tendo, mais tarde, através de uma candidatura ao Programa ON (CCDRN), uma melhoria nos sistemas de rega, drenagem e eletricidade procedendo à sua reabertura em 2007. Com os seus 4 ha atuais, o Jardim Botânico do Porto está dividido em três diferentes secções, cada uma com características vincadas, nomeadamente a Casa Andresen com os jardins formais, muralhado do resto do jardim por altas sebes de camélias centenárias, outra zona rica em plantas xerófitas, representadas por diversos catos e plantas suculentas, assim como três estufas, a estufa de catos, a tropical e a de orquídeas. Por fim, a última secção apresenta um arboreto, com uma vasta coleção de coníferas, plantas autóctones, o fetário e o maior lago do jardim. Além a sua importância botânica, tanto pela dimensão como raridade, apresenta uma janela para as quintas de recreio oitocentistas, sendo ainda um marco de referência cultural e literário [48].

Atualmente, o jardim apresenta uma estrutura bem definida, apresentada no mapa da figura 5.13. Nesta figura é de salientar os pontos 14.5, 14.6, 14.7, 15 e 29, visto apresentarem relevo histórico e biológico, assim como por apresentarem a menor distância da Via de Cintura Interna.

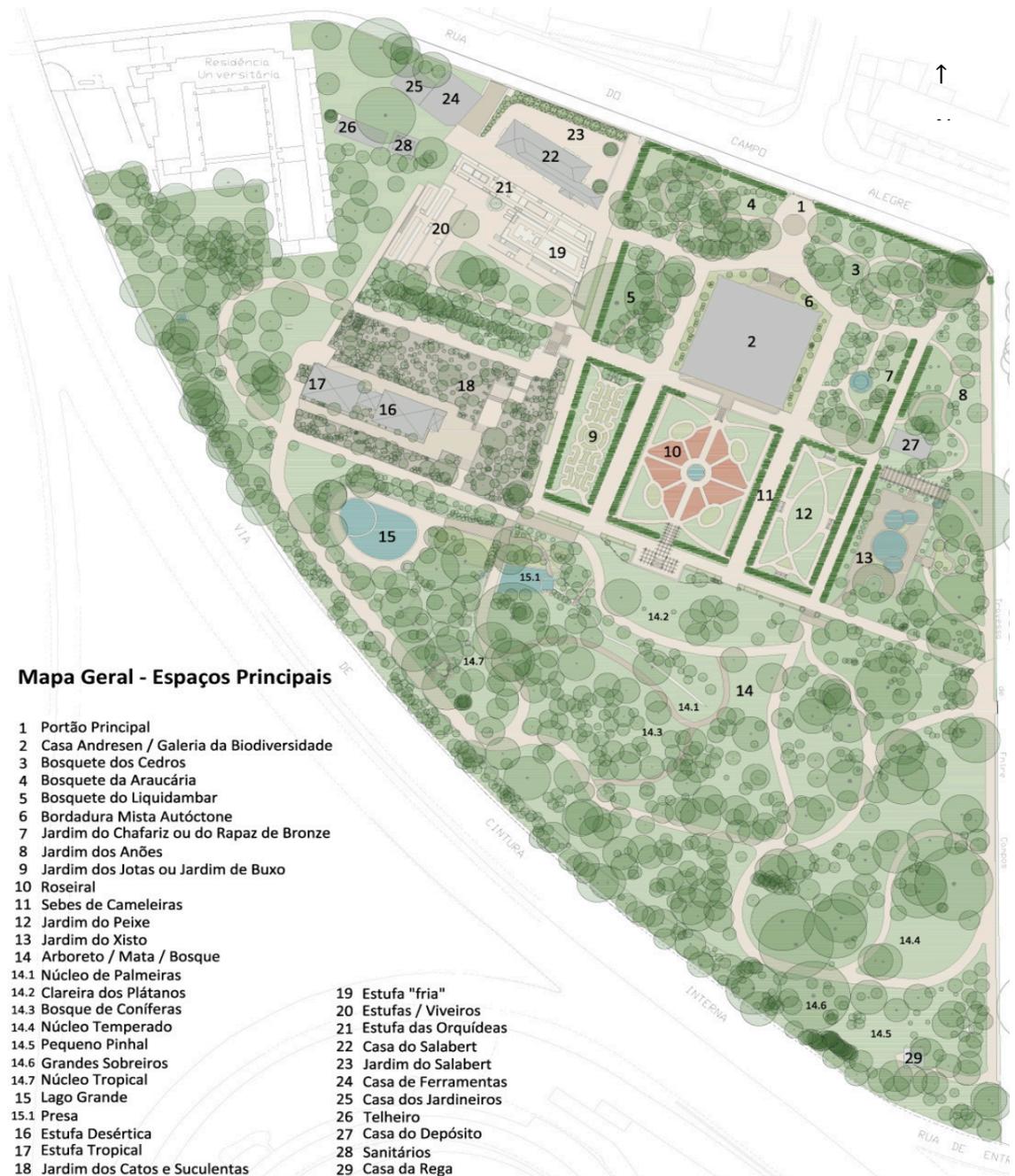


Figura 5.13: Mapa atual do Jardim Botânico do Porto [52]

6

Resultados - Medições

6.1. Introdução

A análise objetiva do Jardim Botânico do Porto teve como objetivo avaliar a caracterização acústica do local, de modo a ter um panorama da atual situação do mesmo, avaliando a influência e a capacidade que este tinha para reduzir o ruído rodoviário proveniente da VCI, tendo em vista a aplicação de possíveis medidas mitigadoras de ruído.



Figura 6.1: Mapa com a localização dos pontos de medição [54]

Devido à sua localização, quase no centro da cidade, e à proximidade de uma das principais artérias de acesso ao Porto, as medições foram realizadas durante um período semanal e numa janela horária em que o fluxo de tráfego era mais elevado e sem congestionamento.

A seleção dos pontos de amostragem foi cuidadosa e, para tal, foram escolhidos quatro pontos figura 6.1. Através de uma análise subjetiva, nomeadamente através da audição, foram escolhidos dois pontos com nível de ruído superior (pontos 1 e 2). O ponto 1 estava localizado a aproximadamente 6 metros da fronteira do Jardim Botânico. O ponto 2 tinha uma distância superior e apresentava uma cota superior ao ponto 1. Ambos apresentavam visão direta para a VCI. Os pontos 3 e 4 apresentavam um carácter mais silencioso e estavam estrategicamente colocados ao abrigo de algum tipo de barreira. O ponto 3 estava localizado perto da casa principal, colocado na traseira de uma construção com dois pisos entre o ponto de medição e a VCI. O ponto 4 estava localizado perto do ponto 3, na zona dos lagos e apresentava um desnível face à envolvente e uma parede arbórea, composta por sebes e cameleiras entre o ponto de medição e a VCI. De notar que nenhum destes pontos (3 e 4), apresentava visão direta para a VCI.

As medições foram realizadas sexta-feira, dia 25 de Outubro de 2019, no período horário entre as 14h00 e as 17h00, em que as condições apresentavam nebulosidade baixa e um fluxo de tráfego elevado sem formação de congestionamentos. O local apresentava uma temperatura de 21 °C, uma humidade relativa de cerca de 59 % e uma velocidade do vento de 0,3 m/s, não existindo flutuação destas condições ao longo do período de medição [55].

6.2. Resultados

A figura 6.2 apresenta a disposição espacial dos locais selecionados para as medições e o quadro 6.1 apresenta as coordenadas, retiradas do *Google Earth*®. No quadro 6.2 estão apresentados os resultados, nomeadamente o L_{Aeq} e alguns parâmetros estatísticos, obtidos em cada ponto de medição. O quadro 6.3 representa os valores de L_{Amin} e L_{Amax}

Quadro 6.1: Coordenadas dos pontos de medição do Jardim Botânico do Porto (54)

Ponto	Latitude	Longitude
1	N 41°09'08.0"	O 8°38'34.2"
2	N 41°09'13.5"	O 8°38'36.1"
3	N 41°09'12.2"	O 8°38'31.3"
4	N 41°09'11.5"	O 8°38'31.8"

Quadro 6.2.: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios

Ponto	L_{Aeq} (dB)	L_{A1} (dB)	L_{A5} (dB)	L_{A50} (dB)	L_{A95} (dB)	L_{A99} (dB)	ΔL_A ($L_{A1} - L_{A99}$) (dB)
1	73,4	76,6	75,6	73,0	70,0	69,0	7,6
2	59,2	61,8	60,2	58,2	56,8	56,0	5,8
3	53,0	54,8	54,4	53,0	51,2	50,6	4,2
4	53,5	56,2	54,6	53,0	51,6	51,0	5,2
Média aritmética	59,8	62,4	61,2	59,3	57,4	56,7	5,7

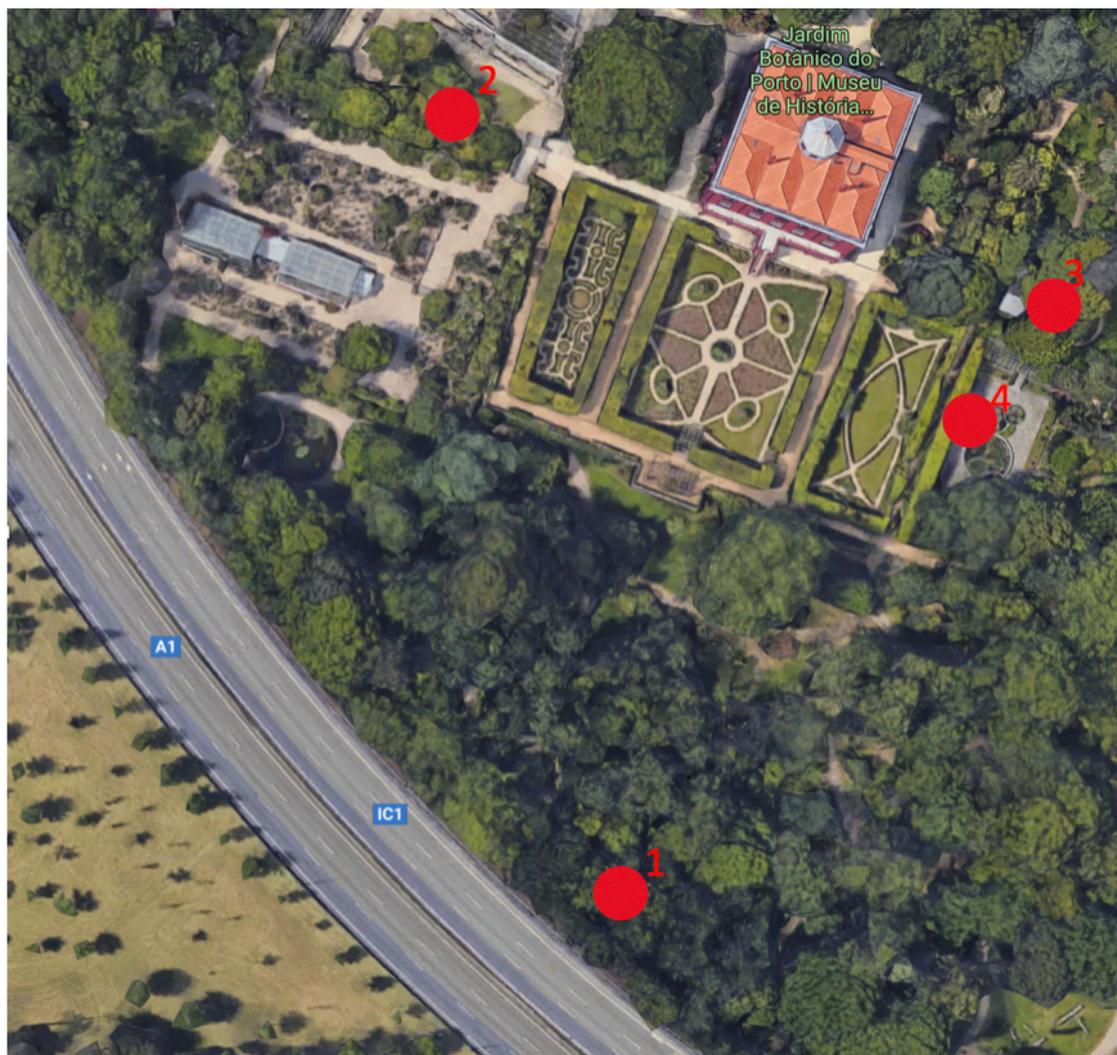


Figura 6.2: Fotografia aérea do Jardim Botânico do Porto com representação dos quatro pontos de medição [54]

Quadro 6.3: Valores de L_{Amax} e L_{Amin} obtidos das medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.

Ponto	L_{Amax} (dB)	L_{Amin} (dB)	ΔL_A (= $L_{Amax} - L_{Amin}$)
1	89,8	67,0	22,8
2	76,9	55,3	21,6
3	56,5	50,1	6,4
4	67,1	50,4	16,7
Média aritmética	55,7	55,7	16,9

No quadro 6.4 são apresentados os valores medidos em cada ponto de medição e por banda de frequência de 1/3 de oitava, sem e com a incorporação do filtro (A), de modo perceber a evolução do ruído por banda de frequência.

Quadro 6.4: Valores obtidos do nível de pressão sonora, por banda de frequência em 1/3 de oitava e respetiva ponderação utilizando o filtro (A).

Banda frequência (Hz)	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4	
	L(dB)	L_A (dB)						
20	64,3	13,8	61,5	11,0	57,1	6,6	56,4	5,9
25	64,0	19,3	59,3	14,6	60,6	15,9	58,5	13,8
31,5	64,5	25,1	60,6	25,1	60,0	20,6	59,1	19,7
40	66,4	31,8	60,6	31,8	62,0	27,4	61,4	26,8
50	71,5	41,3	64,0	41,3	64,5	34,3	65,8	35,6
63	72,5	46,3	65,1	46,3	63,7	37,5	64,8	38,6
80	70,0	47,5	60,8	47,5	60,0	37,5	60,5	38,0
100	66,3	47,2	53,9	47,2	55,0	35,9	54,3	35,2
125	65,5	49,4	52,7	49,4	51,3	35,2	51,3	35,2
160	63,7	50,3	50,4	50,3	47,2	33,8	47,3	33,9
200	63,1	52,2	48,1	52,2	45,7	34,8	45,1	34,2
250	63,1	54,5	50,2	54,5	44,3	35,7	44,2	35,6
315	61,5	54,9	49,0	54,9	42,8	36,2	46,1	39,5
400	60,6	55,8	49,0	55,8	43,0	38,2	43,4	38,6
500	61,7	58,5	50,8	58,5	44,1	40,9	44,6	41,4
630	64,9	63,0	52,2	63,0	45,1	43,2	46,5	44,6
800	67,6	66,8	52,7	66,8	46,3	45,5	47,5	46,7
1k	67,7	67,7	52,3	67,7	45,7	45,7	46,6	46,6
1,25k	65,4	66,0	50,0	66,0	43,4	44,0	43,4	44,0
1,6k	61,4	62,4	47,7	62,4	40,3	41,3	39,0	40,0
2k	56,7	57,9	44,2	57,9	36,7	37,9	34,2	35,4
2,5k	53,3	54,6	40,5	54,6	33,3	34,6	30,4	31,7
3,15k	51,1	52,3	38,5	52,3	30,7	31,9	27,9	29,1
4k	49,2	50,2	33,6	50,2	32,3	33,3	28,8	29,8
5k	46,3	46,8	31,6	46,8	33,4	33,9	28,8	29,3
6,3k	44,8	44,7	31,5	44,7	28,7	28,6	23,3	23,2
8k	42,3	41,2	31,8	41,2	23,7	22,6	20,6	19,5

6.3. Análise de resultados

Através da análise da figura 6.3 e, analogamente, na figura 6.4 (ponderada com filtro A), os quatro pontos de amostragem seguem um padrão relativamente constante, apresentam picos, nomeadamente com um nível de pressão sonora superior na banda de frequência entre os 50 e os 80 Hz e dos 500 aos 1,25k Hz. Comparando o gráfico fornecido na figura 2.7 do capítulo 2, é evidente as similaridades entre o espectro do ruído rodoviário e o presente na figura 6.3, evidenciando um nível de pressão sonora superior da banda de oitava dos 63 Hz, apresentando, então, um espectro sonoro com predominância nas baixas frequências. Já nos 800 Hz é evidente um aumento do nível de pressão sonora que poder ser devido a uma interferência proveniente de uma fonte mecânica, podendo ser resultado de uma instalação próxima de aquecimento, ventilação e ar condicionado (sistema AVAC) que serve de apoio ao Departamento de Ciências de Computadores da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (o sistema está representado na figura 6.5).

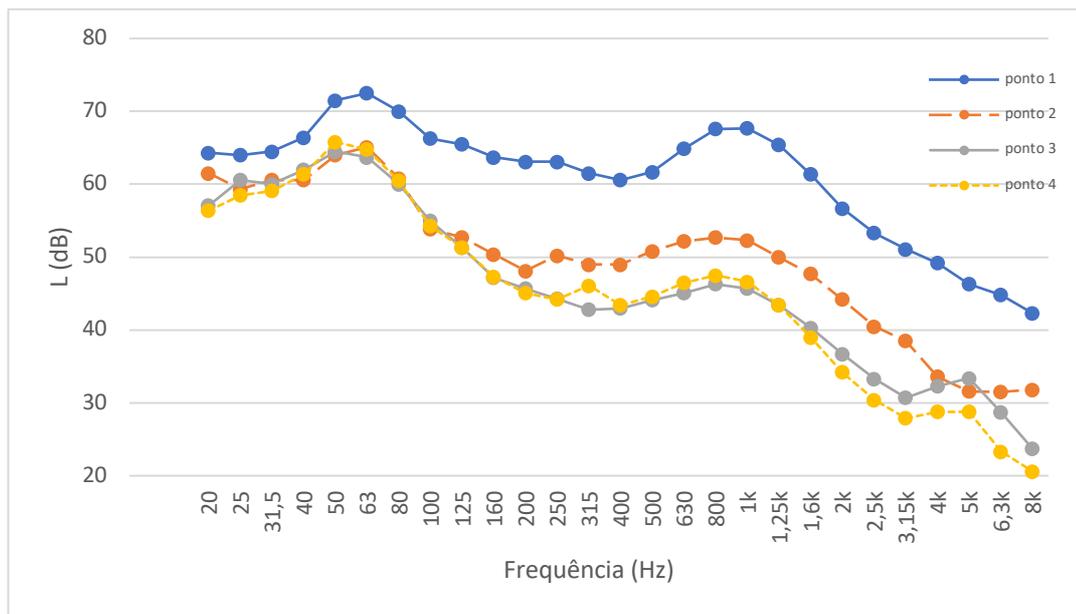


Figura 6.3: Representação do espectro de frequência por terço de oitava das medições realizadas nos diferentes pontos de amostragem.

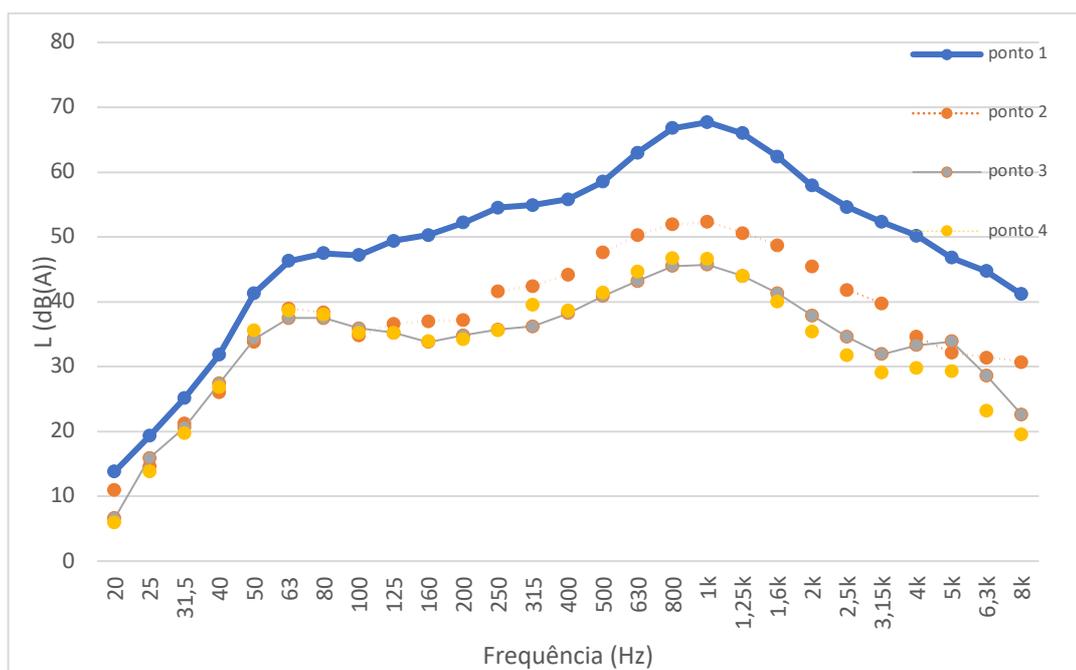


Figura 6.4: Representação do espectro de frequência por terço de oitava e ponderado com filtro A das medições realizadas nos diferentes pontos de amostragem.

Através da análise conjunta do quadro 6.2 e da figura 6.4 é evidente uma redução efetiva dos valores medidos de L_{Aeq} com o aumento da distância do foco de ruído predominante. O L_{Aeq} medido na periferia oeste (pontos 1 e 2) do jardim apresenta um valor superior ao medido na zona mais a este (pontos 3 e 4). Esta diminuição de valores pode ser justificada pela presença do foco de ruído no exterior, nomeadamente na zona oeste do jardim, aliada a atenuação pela distância, mesmo que ligeira, e a presença de obstáculos entre a fonte de ruído e o ponto de medição.

Como seria de esperar, o ponto 1 apresenta o valor de L_{Aeq} mais elevado (73,4 dB) dos quatro pontos de medição, em oposição ao ponto 3 que apresenta o valor de L_{Aeq} mais baixo (53,0 dB) do jardim, existindo uma diferença significativa de 20,4 dB. De notar que o ponto 3, além de apresentar o valor de L_{Aeq} mais baixo, este poderia ser inferior, com a devida alteração do gradeamento existente, visto ser o ponto mais próximo da Rua do Campo Alegre, rua essa que apresenta também uma grande densidade de tráfego.

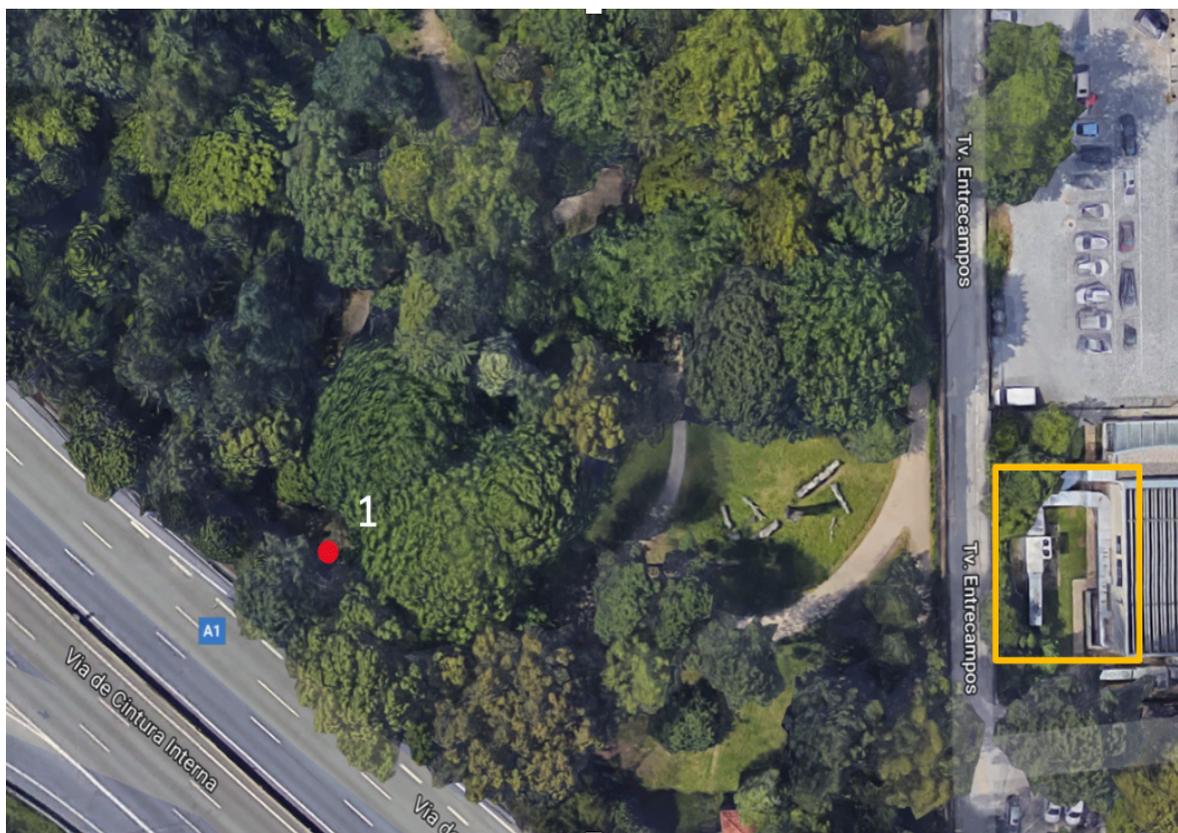


Figura 6.5: Possível fonte de ruído mecânico da frequência dos 800 Hz, quadrado amarelo e comparação de proximidade com o ponto de medição 1, ponto vermelho. (55)

Embora sejam parâmetros pouco ou nada significativos para o presente trabalho, os valores instantâneos de L_{Amax} e L_{Amin} , (quadro 6.3), poderiam, numa hipótese remota, e até certo ponto, ser diferentes dos níveis sonoros durante a noite, ou seja, o valor de L_{Amin} poderá atingir um valor inferior ao analisado e o valor de L_{Amax} poderia ser excedido devido à pontualidade do tráfego noturno, permitindo assim atingir velocidades superiores, aumentando assim o seu valor (L_{Amax}). Como estas diferenças poderão ocorrer no período noturno, não apresentam relevância significativa para o presente estudo, visto ser num intervalo de tempo que não coincide com o período de funcionamento do Jardim Botânico do Porto.

De forma detalhada, as figuras 6.6 e 6.7, embora representem os mesmos resultados, valores medidos nos diferentes pontos de medição, são apresentadas de forma gráfica diferente. A figura 6.6 é mais correta fisicamente, contudo a figura 6.7 facilita a compreensão das diferenças ocorridas nos vários pontos analisados do jardim.

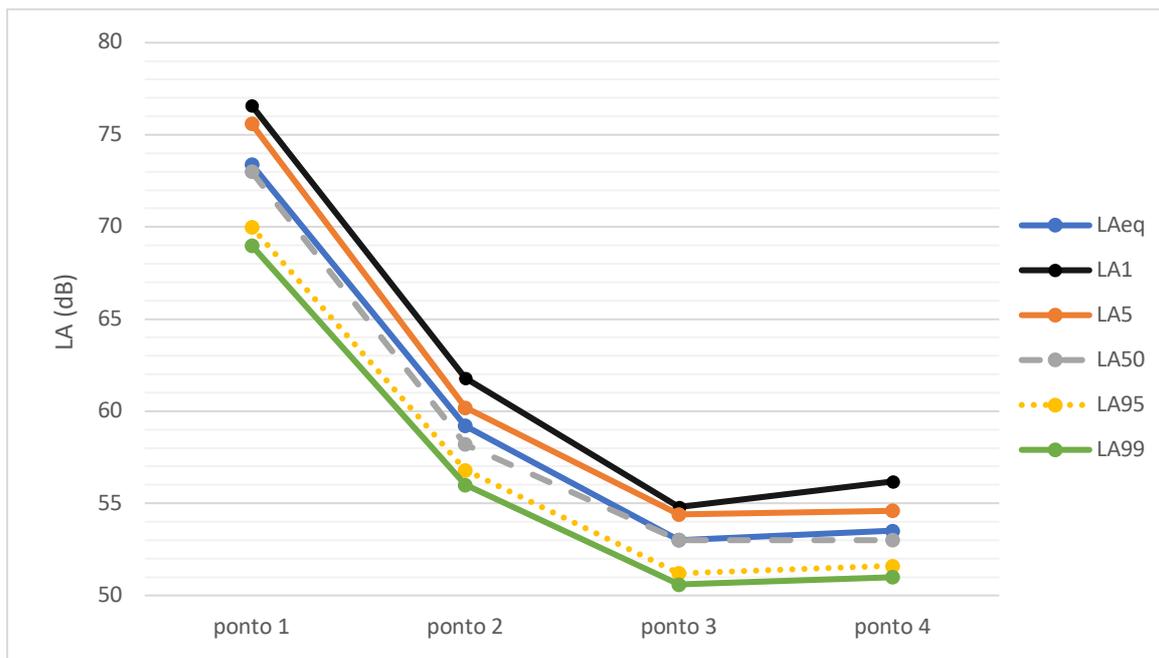


Figura 6.6: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.

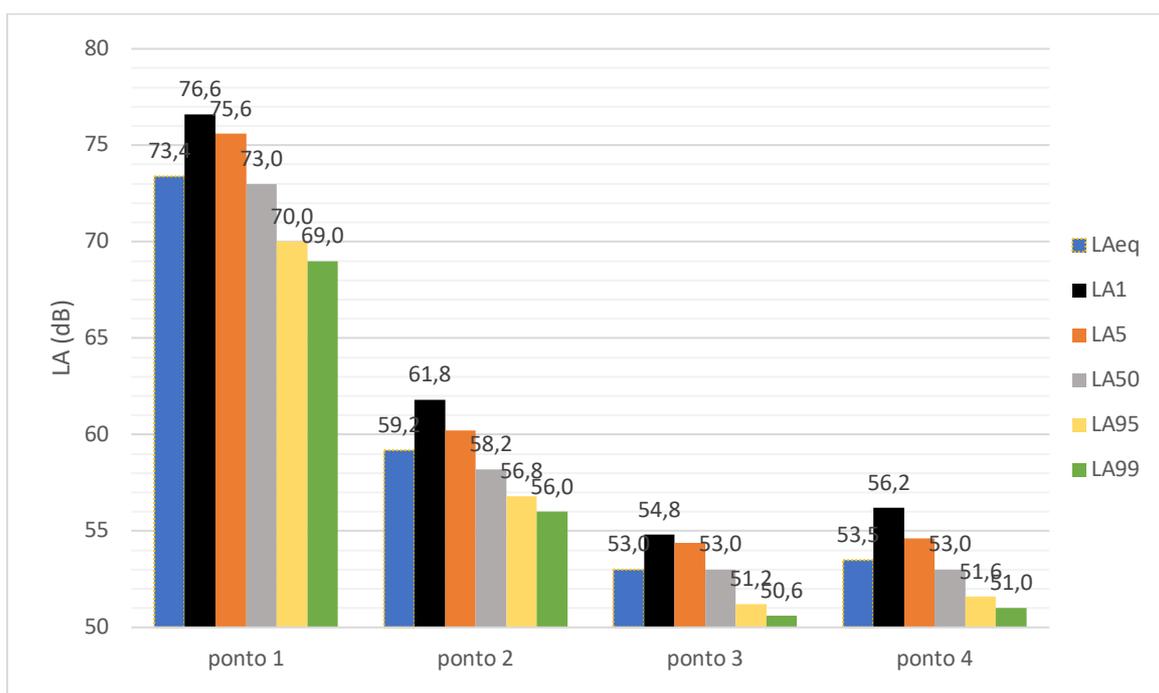


Figura 6.7: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e consequente cálculo dos valores médios.

De forma a avaliar a degradação sonora utilizado o parâmetro ΔL_A , ou seja, a diferença entre o ruído de fundo (L_{A99}) e o ruído de ponta (L_{A1}). Analisando o quadro 6.2, é possível concluir, como seria de esperar, que o ponto 1 apresenta uma degradação sonora mais elevada do que qualquer outro ponto de medição (7,6 dB(A)) em oposição ao ponto 3 que apresenta o valor de degradação mais baixo (4,2 dB(A)). Embora exista uma diferença de 3,4 dB(A), a diferença não é significativa, indicando uma estabilização constante do ruído, não evidenciando oscilações significativas.

Quadro 6.5: Comparação dos resultados dos pontos de medição 1 e 3 do Jardim Botânico do Porto e consequentes diferenças.

Ponto	L_{Aeq} (dB)	L_{A1} (dB)	L_{A5} (dB)	L_{A50} (dB)	L_{A95} (dB)	L_{A99} (dB)	ΔL_A (= $L_{A1} - L_{A99}$) (dB)
1	73,4	76,6	75,6	73,0	70,0	69,0	7,6
3	53,0	54,8	54,4	53,0	51,2	50,6	4,2
ΔL_A (=Ponto 1- Ponto 3)	20,4	21,8	21,2	20,0	18,8	18,4	3,4

Fazendo uma análise comparativa entre os pontos 1 e 3 (quadro 6.5), ou seja, o ponto mais ruidoso e o mais silencioso, conclui-se que existem diferenças significativas entre os dois pontos. O valor de L_{Aeq} apresenta uma redução de 20,4 dB no ponto 3, uma diferença significativa para um distanciamento de aproximadamente 130 m. Podemos então, distinguir dois jardins distintos dentro do Jardim Botânico do Porto, ou seja, um “jardim bom” composto pelas áreas circundantes aos pontos 3 e 4 e um “jardim mau” composto pelas áreas circundantes aos pontos 1 e 2, sendo o objetivo homogeneizar os valores de L_{Aeq} do “jardim mau” relativamente ao “jardim bom”.

6.4. Comparação de resultados

Foi também realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos no Jardim Botânico com os resultados obtidos noutros jardins da cidade do Porto [15], assim como uma comparação com alguns estudos presentes no capítulo 3 do presente trabalho, sendo que para tal foi comparado com o ponto mais silencioso do J.B., nomeadamente o ponto 3.

Quadro 6.6: Valores de L_{Aeq} interior médios de diferentes jardins da cidade do Porto [15]

Jardim	L_{Aeq} (dB)	ΔL_A (= $JB - Jardim$) (dB)
Jardim Botânico do Porto	53,0	-
	73,4	-20,4
Praça da República	59,3	-6,3
Praça Marquês de Pombal	61,4	-8,4
São Lázaro	61,4	-8,4
Cordoaria	58,3	-5,3
Serralves	46,7	6,3
Parque da Cidade	47,2	5,8

Analisando o quadro 6.6, é possível concluir que o valor médio de L_{Aeq} do Jardim Botânico do Porto está em concordância com o panorama geral de um jardim urbano da cidade do Porto, existindo uma diferença entre 5 e 8 dB para os jardins mais ruidosos, nomeadamente a Praça Marquês de Pombal e Jardim de São Lázaro. De notar que estes apresentam uma área efetiva muito inferior ao do Jardim Botânico do Porto. Comparando com os espaços que “competem” diretamente com o Jardim Botânico, o Jardim de Serralves e o Parque da Cidade, apresentam um valor menor em 13,1 e 12,6 dB

respetivamente. De forma a comparar, o ΔL_A é referente ao valor mínimo medido no Jardim Botânico (“Jardim Bom”) e os valores de L_{Aeq} dos diferentes jardins em estudo.

Comparando os resultados com os obtidos na cidade de Curitiba no Brasil [18], presente no capítulo 3.1.4 e no quadro 6.7, o Jardim Botânico do Porto apresenta resultados que se enquadram no panorama acústico desses jardins brasileiros, existindo uma redução sonora face à distância do jardim ao centro da cidade. Em relação ao Jardim Botânico de Curitiba, existe um incremento 7,2 dB face ao valor médio do Jardim Botânico do Porto, de notar que a cidade do Porto apresenta uma densidade populacional superior a Curitiba.

De forma a comparar, o ΔL_A é referente ao valor mínimo medido no Jardim Botânico (“Jardim Bom”) e os valores de L_{Aeq} dos diferentes jardins em estudo.

Quadro 6.7: Valores de LAeq interior médios de diferentes jardins de Curitiba [18]

Jardim	Distância ao centro da cidade (km)	L_{Aeq} (dB)	ΔL_A (= JB – Jardim) (dB)
Botânico	2,5	67,0	-14,0
Passeio Público	1,0	64,8	-11,8
São Lourenço	3,5	59,1	-6,1
Tanguá	6,0	50,3	2,7
Barigui	5,0	50,6	2,4
Tingui	7,0	50,5	2,5
Jardim Botânico do Porto	3.3	53,0	-
		73,4	-20,4

Comparando os resultados obtidos no estudo de Roterdão, presente no capítulo 3.1.6 e no quadro 6.8, os valores medidos no Jardim Botânico do Porto apresentam valores de L_{Aeq} superiores. De notar que o jardim Sidelinepark apresenta características muito semelhantes ao Jardim Botânico do Porto, apresentando uma área idêntica e a presença de uma autoestrada com tráfego parecido à Via de Cintura Interna do Porto. De forma a comparar, o ΔL_A é referente ao valor mínimo medido no Jardim Botânico (“Jardim Bom”) e os valores de L_{Aeq} dos diferentes jardins em estudo.

Quadro 6.8: Valores de LAeq interior médios de diferentes jardins de Roterdão [21]

Jardim	L_{Aeq} (dB)	ΔL_A (= JB – Jardim) (dB)
Sidelinepark	58,5	-5,5
Wijkpark Oude Westen	54,1	-1,1
Zuiderpark	54,7	-1,7
Jardim Botânico do Porto	53,0	-
	73,4	-20,4

Fazendo agora uma abordagem ao panorama legislativo internacional, o quadro 6.9 apresenta alguns valores de L_{Aeq} máximos de diversos países e organizações, tendo como objetivo compreender em que “nível” se encontra o Jardim Botânico do Porto, estando o valor de L_{Aeq} do mesmo acima dos valores recomendados.

Quadro 6.9.: Valores limite de referência do L_{Aeq} de diferentes Países e Organizações [22]

País / organização	L_{Aeq} (dB)
Alemanha	55
Egipto	45
India	50
Organização Mundial Saúde	55
Agência de Proteção Ambiental dos (E.U.A)	45
Nigéria	45
Portugal	55

6.5. Situação atual da barreira existente

Foram realizadas duas medições adicionais para avaliar a eficácia da barreira atual numa dos cantos do Jardim Botânico, servindo a mesma de proteção ao jardim e à residência universitária. Aquando da realização das medições, foi realizada uma avaliação visual da barreira de modo a tentar perceber quais os seus prós e contras. A barreira apresentava um perfil metálico perfurado do lado da VCI e um perfil liso na parte do jardim, sendo o seu interior composto por lã mineral, figura 6.8. Logo de início foram detetadas duas falhas, a altura da mesma era demasiada reduzida para o efeito pretendido, assim como a extensão da mesma. A figura 6.9 exemplifica a falta de altura. Estando o sonómetro estacionado a aproximadamente 4 m da barreira, foi possível visualizar veículos a circular, tanto pesados como alguns ligeiros de mercadorias.

As medições foram realizadas sexta-feira, dia 10 de Janeiro de 2020, no período horário entre as 14h00 e as 17h00, em que as condições apresentavam nebulosidade baixa e um fluxo de tráfego elevado sem formação de congestionamentos. O local apresentava uma temperatura de 21 °C, uma humidade relativa de cerca de 50 % e uma velocidade do vento de 0,5 m/s, não existindo flutuação destas condições ao longo do período de medição.



Figura 6.8: Lado perfurado da barreira virado para a VCI (esquerda) e composição interior da barreira em lã mineral (direita) [Foto do Autor]



Figura 6.9: Visualização parcial de um veículo pesado e um ligeiro de mercadorias (a vermelho) que circula na VCI, não existindo um bloqueio visual efetivo por parte da barreira, (fotografia tirada no ponto de medição nº 6 [foto do autor])

Como foi dito anteriormente, foram realizadas duas medições, uma sob influência da barreira e outra sem influência da barreira, ambos os pontos estavam a uma cota semelhante e apresentavam uma distância semelhante em relação à VCI, pretendendo-se analisar a redução sonora que a barreira proporcionava. A figura 6.10 apresenta a localização espacial dos locais selecionados para as medições e o quadro 6.10 apresenta as coordenadas dos mesmos retiradas do *Google Earth*®. O quadro 6.11 apresenta os resultados, os parâmetros medidos foram semelhantes aos que foram medidos nas medições anteriores de forma a manter a consistência e um grau passível de comparação.

Quadro 6.10: Coordenadas dos pontos de medição do Jardim Botânico do Porto.

Ponto	Latitude	Longitude
5	N 41°09'11,55"	O 8°38'38,65"
6	N 41°09'13,74"	O 8°38'40,11"

Quadro 6.11: Resultados obtidos nas medições do Jardim Botânico do Porto e conseqüente cálculo dos valores médios.

Ponto	L_{Aeq} (dB)	L_{A1} (dB)	L_{A5} (dB)	L_{A50} (dB)	L_{A95} (dB)	L_{A99} (dB)	ΔL_A $= (L_{A1} - L_{A99})$ (dB)
6	73,0	76,5	75,0	72,5	69,0	68,0	8,5
5	71,9	77,5	75,0	71,0	68,0	67,5	10,0
Média aritmética	72,5	77,0	75,0	71,8	68,5	67,8	9,3



Figura 6.10: Mapa do Jardim Botânico e representação dos pontos de medição. [52]

Através da análise do quadro 6.11, avaliação dos resultados do L_{Aeq} apresentam uma redução sonora de apenas 1,1 dB entre o ponto de medição colocado sob o abrigo da barreira acústica face ao ponto com visão direta sobre a VCI, sendo uma redução irrisória face ao investimento colocado na mesma. Comparando o ponto 5 com o ponto 1, é possível observar que não existe uma alteração significativa dos resultados entre as medições realizadas em Outubro e em Janeiro, apenas uma diferença de 0,4 dB entre os dois pontos. Avaliando os parâmetros estatísticos, é possível denotar um aumento da degradação da paisagem sonora, (parâmetro ΔL_A), face ao ponto de medição com barreira, analisando pormenorizadamente os diferentes parâmetros, é possível retirar que o ruído de ponta, parâmetro L_{A1} , é o único valor que é superior ao ponto 6, esta anomalia pode ser explicada por, e recorrendo à fundamentação teórica do parâmetro, este é expresso pelo ruído que é excedido em 1 % do período de medição, podendo ser explicado por um evento pontual que resulte, por exemplo, pela utilização do dispositivo sonoro de um veículo ou pela passagem de um veículo mais ruidoso.

7

Resultados - Percepção subjetiva

7.1. Inquéritos sócio-acústicos

Como já foi abordado anteriormente, as medições de ruído estão globalmente normalizadas e especificadas de modo a tornar as medições o mais padronizado e fiável possível. Para tal existem diversas normas, como a ISO 1996 [27][28] que contém as especificações técnicas necessárias sobre grandezas físicas, procedimento e aquisição de dados e a sua aplicação para o estabelecimento de limites de ruído.

Para uma análise da percepção subjetiva do Jardim Botânico do Porto, foi utilizada a NP 4476, “Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos” [56], com o objetivo de proporcionar especificações para a avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais. Com o cumprimento destas diretivas, existe uma potenciação dos resultados obtidos, obtendo mais e melhor informação assim como a possibilidade de comparação e amostragem de resultados dos inquiridos, assim como valores estatísticos mais fiáveis. A aplicação prática deste inclui questões diretas, escalas de resposta e aspetos chaves para elaborar, conduzir os inquéritos e relatórios de resultados, não especificando métodos de análise e abordagem aos dados obtidos.

A norma identifica alguns tipos de questões que podem ser usadas, nomeadamente questões de resposta direta, “indique uma fonte de ruído”, perguntas de escolha múltipla, que têm vindo a ser aceites como uma forma eficaz de obter a relação entre ruído e as reações dos inquiridos, pois, ao contrário das perguntas de resposta indiretas, estas são mais explícitas e de fácil interpretação [56].

As perguntas indiretas têm como objetivo a percepção e impacto do ruído nos inquiridos, ou seja, perguntas de resposta “aberta” em que seja pedido a identificação de fontes de ruído, possíveis queixas ou perguntas que, de certo modo, apresentem uma reação comportamental [56].

Podem também ser abordados outros tipos de formulação de perguntas, cada um com intensidade diferente, nomeadamente questões de escala verbal ou mesmo escalas numéricas de avaliação. A escala verbal é maioritariamente usada para uma comunicação clara e transparente, através da escolha de uma só palavra onde os inquiridos poderão, independentemente do seu grau de alfabetização e de forma simples, selecionar a palavra que melhor expressa a sua reação ao estímulo indicado na pergunta, devendo para isso, ser mantido o protocolo usado na escolha das palavras e a sua constante manutenção na mesma posição da escala. A escala numérica controla a consistência de resposta do inquirido, sendo útil como uma pergunta secundária, visto não estar associada a uma escala em que seja necessário escolher uma palavra, sendo, por isso, útil em locais de estudo em que apresentem diversidade cultural e linguística [56].

Como foi referido no capítulo 3, (pontos 3.1.3, 3.1.5, 3.1.6 e 3.2), já foram realizadas abordagens semelhantes, através de inquéritos, para avaliar a perceção subjetiva dos inquiridos face ao ruído de diversos espaços públicos [17] [19] [21] [23].

Tendo em atenção a referida norma, foi cuidadosamente elaborado um inquérito (Anexo I). Este consistiu num total de quinze perguntas, de resposta aberta e resposta fechada, e um local destinado a possíveis sugestões ou comentários, estando a estrutura do inquérito dividida essencialmente em quatro secções. A primeira é referente a dados sociodemográficos como idade, género e nacionalidade; a segunda aborda questões relacionadas com a frequência de visita ao Jardim Botânico, motivo da visita ou aspeto mais importante no mesmo; a terceira parte é composta por perguntas sobre o motivo do estudo, nomeadamente uma pergunta de resposta aberta que pede para indicar dois sons audíveis no momento, assim como uma avaliação acústica e global do espaço (de notar que em nenhuma parte do inquérito é utilizada a palavra “ruído”, devido à sua conotação negativa e para não canalizar os inquiridos para a problemática do ruído rodoviário); a última parte pede uma possível sugestão ou comentário.

Na segunda parte do inquérito, estão presentes quatro questões, uma de questão aberta (questão nº 5) e três de escolha múltipla (questões nº 4, 6 e 7). As questões utilizadas foram:

- Questão nº 4: Quantas vezes já veio ao Jardim Botânico do Porto?
- Questão nº 5: Se pudesse realizar uma única alteração no Jardim Botânico, qual seria?
- Questão nº 6: Porque visitou hoje o Jardim Botânico?
- Questão nº 7: Qual acha ser o aspeto mais importante no jardim?

Estas questões foram elaboradas com um intuito de dar uma perspetiva geral sobre a perceção global dos inquiridos, seja pelo motivo da visita, ou qual o aspeto que consideram ser mais importante e, de certo modo, principalmente através da questão nº 4, tentar compreender se, sem qualquer tipo de indicação para tal, o ruído presente no local teria um grau de incomodidade e ponderação suficiente para ser referido.

Na terceira parte do inquérito, estão presentes as perguntas referentes à situação acústica do Jardim Botânico. Este é composto por uma questão de resposta aberta (questão nº 8), cinco perguntas de escala verbal (questões nº 9 a 13) e duas de escala numérica (questões nº 14 e 15). As questões utilizadas foram:

- Questão nº 8: Identifique dois sons que distingue no Jardim Botânico?
- Questão nº 9: São esperados os sons que ouço no jardim?
- Questão nº 10: Gosto destes sons?
- Questão nº 11: O “volume” incomoda?
- Questão nº 12: Considero o jardim acusticamente agradável?
- Questão nº 13: Considero o jardim tranquilo?
- Questão nº 14: Como o avalia acusticamente?
- Questão nº 15: Como avalia globalmente este jardim?

Estas questões foram elaboradas com o intuito de compreender o efeito sonoro provocado pela Via de Cintura Interna. A questão nº 8 visava saber que tipo de sons são perceptíveis pelos inquiridos, das questões nº 9 a 13 foi pedido que avaliassem a qualidade subjetiva dos sons perceptíveis, analisando, subjetivamente, se estes eram um fator positivo ou negativo na experiência global da visita ao jardim. Por fim, as questões nº 14 e 15 foram elaboradas de modo a perceber a avaliação global, tanto da paisagem sonora como na globalidade do jardim, com o objetivo de obter uma possível relação entre as avaliações realizadas nas duas questões.

No decorrer do processo de entrevista, os inquiridos foram abordados individualmente, de forma aleatória e sem nenhum padrão de seleção. Foi então pedido que preenchessem, de forma voluntária e anónima, um pequeno questionário sobre a qualidade ambiental do Jardim Botânico. Em nenhum momento foi referido que o intuito do mesmo serviria para a avaliação da paisagem sonora ou incomodidade induzida por ruído de modo a não induzir os inquiridos a uma abordagem mais direcionada para problemática em estudo, adulterando a verdadeira visão dos inquiridos sobre a sua envolvente. A realização dos inquéritos decorreu entre o dia 23 de Outubro e o dia 5 de Janeiro de 2020, a janela temporal foi alargada devido à falta de condições atmosféricas favoráveis, visto o local da realização ser ao ar livre e devido à falta de afluência de potenciais inquiridos. No total foram realizados 50, em que 41 foram realizados em português e 9 foram realizados em inglês.

7.2. Resultados

Numa pequena amostra de visitantes do Jardim Botânico do Porto, a interpretação dos resultados das perguntas colocadas foi feita de forma isolada, não existindo cruzamento entre as diversas respostas. Num total de 50 inquiridos, foi verificado que, do total, 57% eram do sexo masculino, como representado na figura 7.1 e a grande maioria, cerca de 55% eram indivíduos com idades compreendidas entre os 18 e os 30 anos, figura 7.2, devendo-se este fator, possivelmente, à proximidade de diversas instituições de ensino superior, locais estes com uma elevada afluência de pessoas com a faixa etária acima referida.

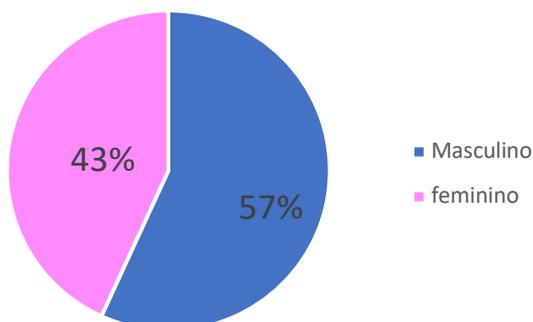


Figura 7.1: Distribuição quanto ao género dos inquiridos do Jardim Botânico do Porto.

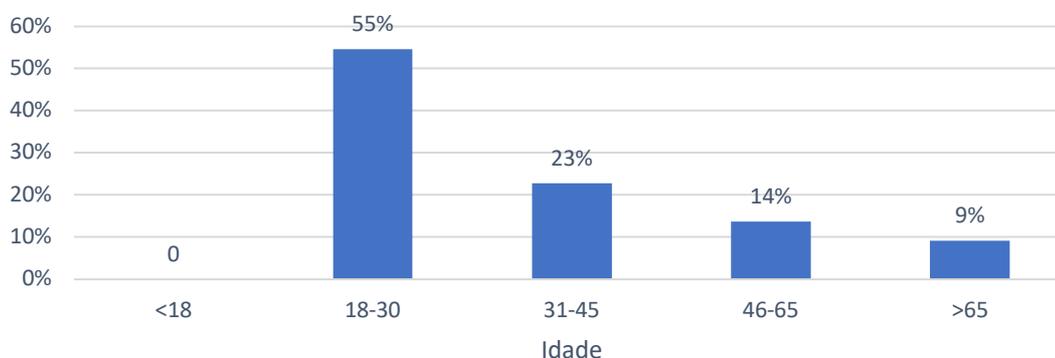


Figura 7.2: Distribuição da faixa etária dos inquiridos do Jardim Botânico do Porto.

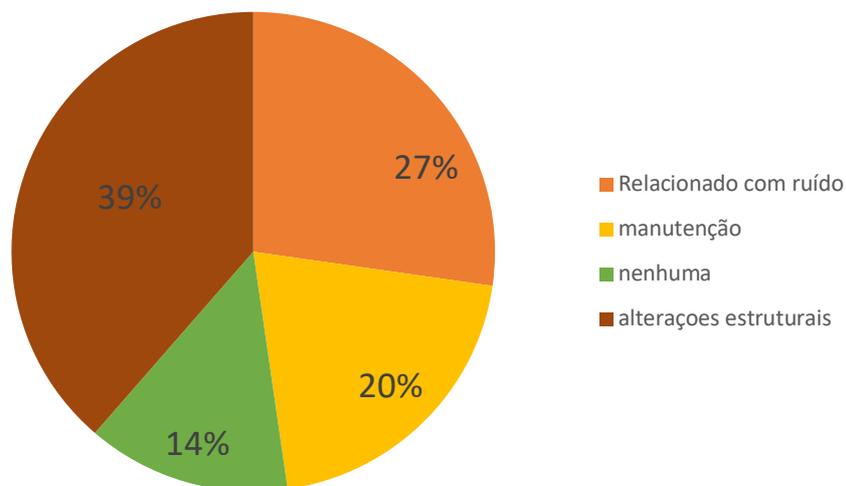


Figura 7.3: Resultados da questão nº 5, relativa a uma única possível alteração no Jardim Botânico.

Referente aos resultados da questão nº 5, figura 7.3, a maioria, cerca de 39% apontou falhas na estrutura do jardim, desde falta de sinalização de espécies, falta de locais para sentar ou mesmo falta de locais destinados à deposição de resíduos. De destacar também, que, cerca de 27% teceu comentários relativos ao ruído rodoviário, sugerindo, por exemplo, a implementação de barreiras acústicas.

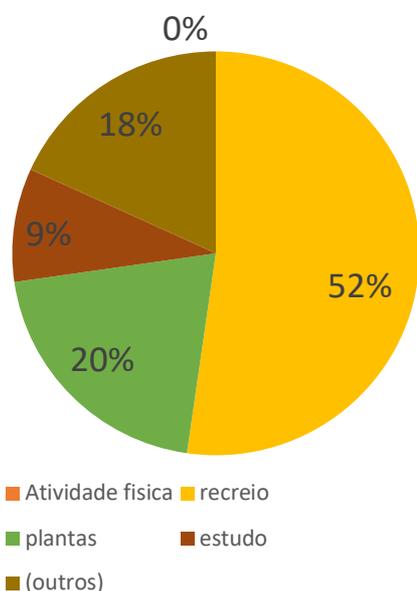


Figura 7.4: Resultados da questão nº6, relativa ao motivo da visita ao Jardim Botânico.

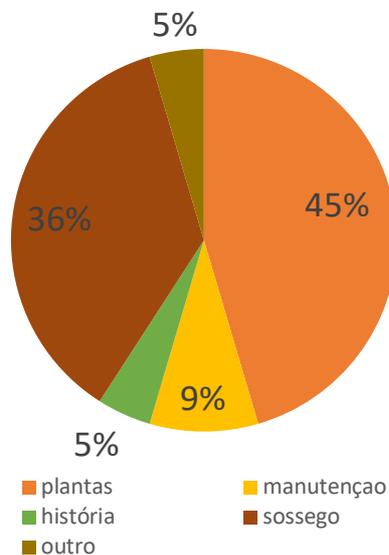


Figura 7.5: Resultados questão nº 7, relativa ao aspeto que consideram ser mais importante no Jardim Botânico.

Na questão nº 6 figura 7.4, os resultados indicam que 52% dos inquiridos visitaram o jardim como forma de lazer, nomeadamente por motivos de convívio ou leitura, seguido, 20%, por causa da envolvente natural, designado no gráfico e inquirido por “plantas”, e 18% selecionou a opção “outros”, em que a

grande maioria apontou atividades relacionadas com fotografia ou trabalho e, por fim, com 9% motivos académicos.

Na questão nº 7 figura 7.5, o fator mais procurado e apreciado no Jardim Botânico, com 45%, enquadrando também na temática do mesmo, é a grande variedade vegetal presente, seguido do sossego, com 36%, proporcionado pelo mesmo como forma de escape à envolvente citadina.

Quando questionados sobre dois sons que poderiam distinguir no momento da realização do inquérito, o ruído mais assinalado, cerca de 40%, é referente ao tráfego rodoviário, maioritariamente proveniente da Via de Cintura Interna do Porto, seguido do ruído de aves com 28%, (figura 7.6).

Relativamente às questões nº 9 a 13 (quadro 7.1.):

Quando questionados sobre se os sons ouvidos eram os esperados no Jardim Botânico, os resultados estão distribuídos pelos cinco níveis de escolha de resposta: 50% concordou (30% Concordo Muito e 20% Concordo Completamente), 41% discordou (16% Discordo Muito e 25% Discordo Pouco) e apenas 9% se sentiu indiferente. A superioridade estatística do Concordo Muito/Completamente, deve-se à percepção que os inquiridos têm da influência da VCI e do ruído provocado pela mesma (figura 7.7).

Quando questionados sobre se gostavam desses sons, 46% dos inquiridos discordaram (30% Discordaram Completamente e 16% Discordam Muito), 18% mostrou indiferença e 36% Concordaram (20% Concordaram Muito e 16% Concordaram Completamente). Novamente, o ruído proveniente da VCI apresenta uma preponderante influência nos resultados (figura 7.8).

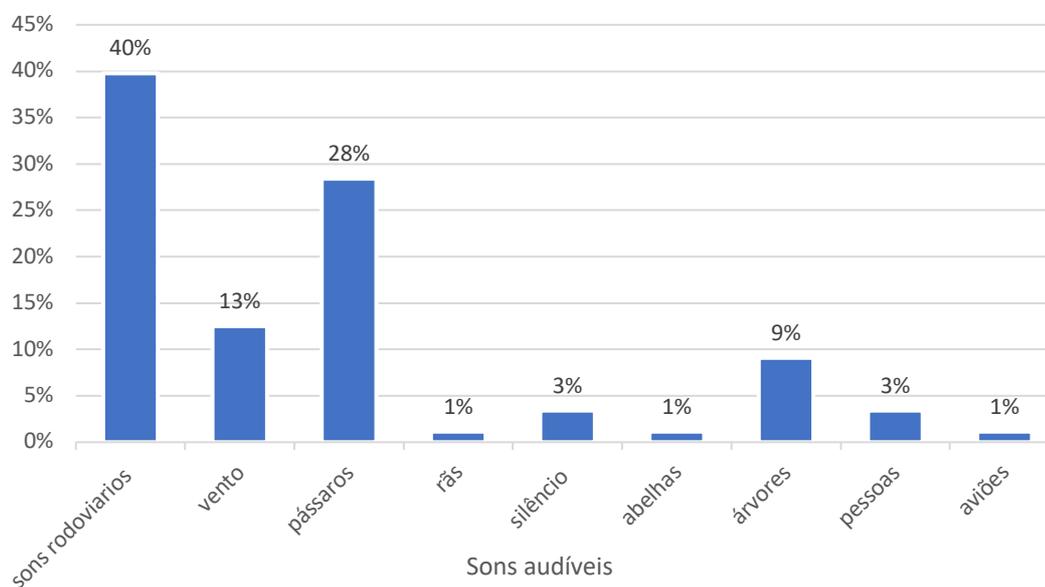


Figura 7.6: Resultados da questão nº 8, referente a identificar dois sons audíveis.

Quando questionados sobre a incomodidade provocada pelo “volume” do ruído, 35% não se sentiram incomodados (20% Concordaram Muito e 15% Concordaram Completamente), 20% dos inquiridos sentiram-se indiferentes e 45% discordaram (20% Discordo Completamente e 25% Discordo Muito), figura 7.9.

Quando questionados sobre se consideravam o jardim acusticamente agradável, 57% concordou (30% Concordo Muito e 27% Concordo Completamente), 18% mostraram indiferença e apenas 25% discordaram (9% Discordo Completamente e 16% Discordo Muito), figura 7.10.

Quando questionados sobre se consideram o jardim tranquilo, 64% concordou (32% Concordo Muito e 32% Concordo Completamente), apenas 2% ficou indiferente e 34% Discordaram (11% Discordo Completamente e 23% Discordo Muito), figura 7.11. Aquando da realização dos inquéritos, os inquiridos referiram que abstendo a questão do ruído, o jardim apresentava um espaço calmo e tranquilo, corroborando com a avaliação global do jardim.

Quadro 7.1: Resultados dos inquiridos às questões nº 9 a 13.

	Discordo Completamente (1)	Discordo Pouco (2)	Indiferente (3)	Concordo Muito (4)	Concordo Completamente (5)
Questão 9	16%	25%	9%	30%	20%
Questão 10	30%	16%	18%	20%	16%
Questão 11	20%	25%	20%	20%	15%
Questão 12	9%	16%	18%	30%	27%
Questão 13	11%	23%	2%	32%	32%

De seguida são apresentados os resultados em forma gráfica as questões do quadro 7.1, os valores numéricos 1, 2, 3, 4 e 5 representam, respetivamente, Discordo Completamente, Discordo Pouco, Indiferente, Concordo Muito e Concordo Completamente.

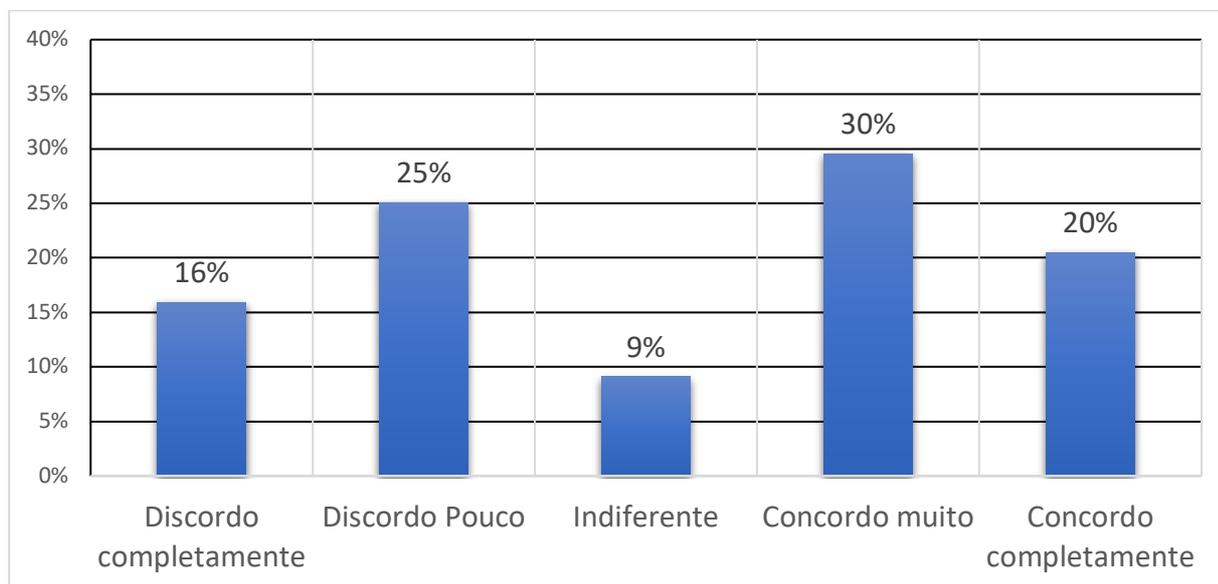


Figura 7.7: Resultados da questão nº 9, referente a se são esperados os sons ouvidos.

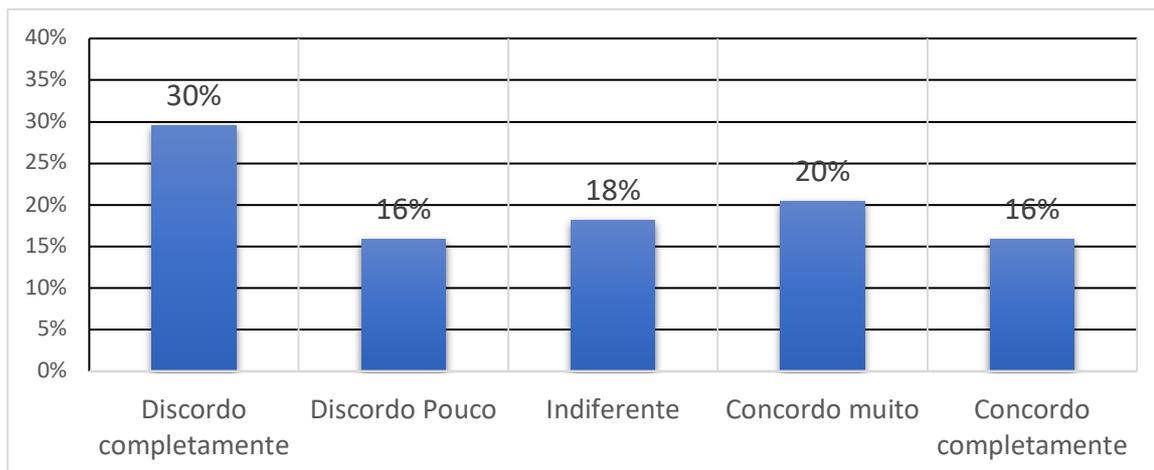


Figura 7.8: Resultados da questão nº 10, referente a se gosto destes sons.

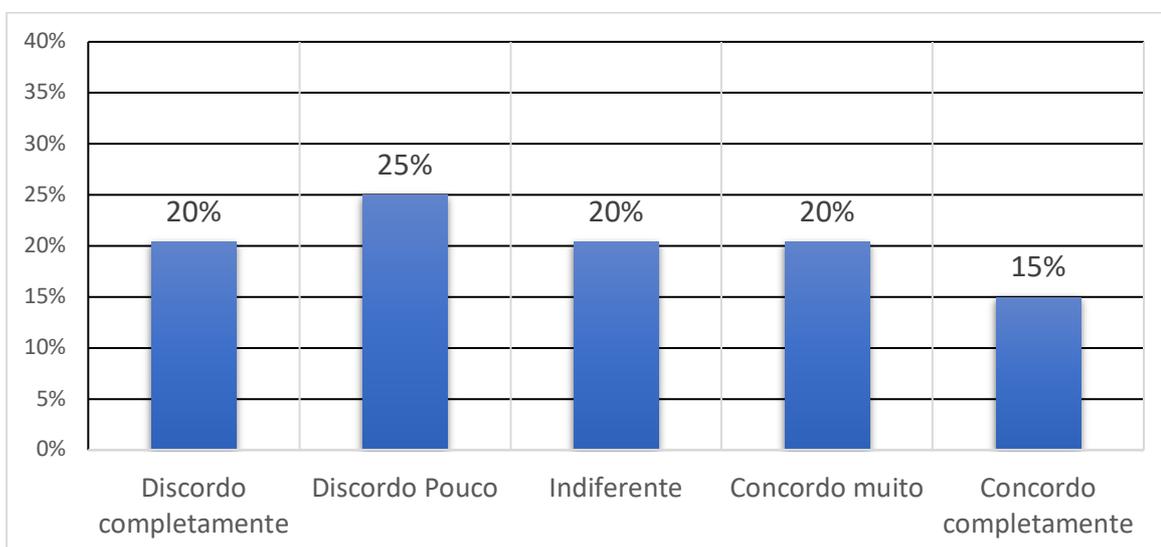


Figura 7.9: Resultados da questão nº 11, referente a incomodidade do volume

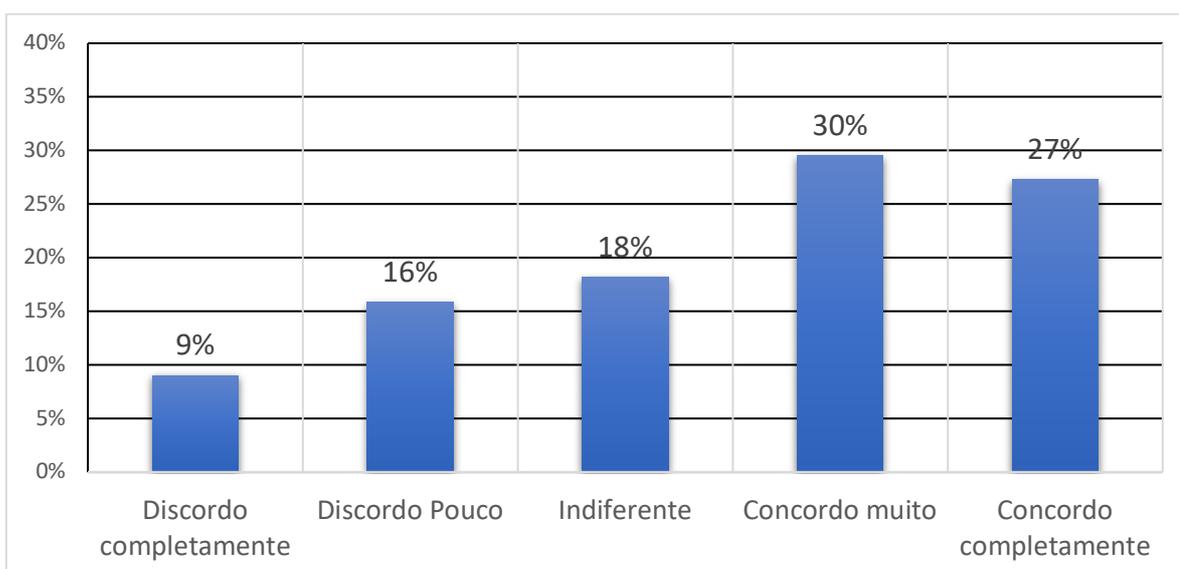


Figura 7.10: Resultados da questão nº 12, referente a se considero o jardim acusticamente agradável.

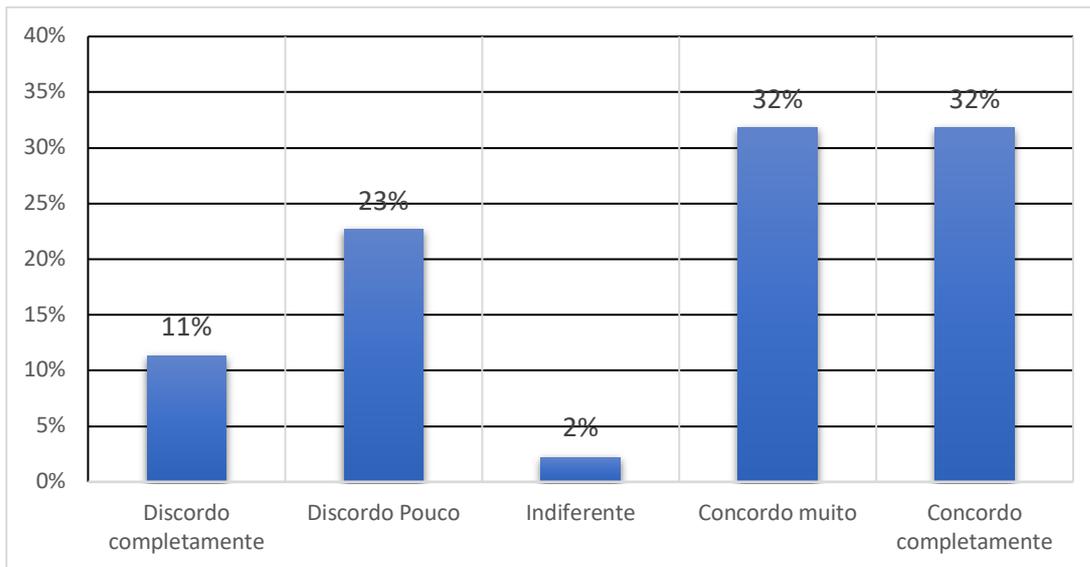


Figura 7.11: Resultados da questão nº 13, referente a tranquilidade do jardim.

Quando questionados sobre como avaliam acusticamente o jardim (figura 7.12), os resultados apresentam uma distribuição alargada, não sendo possível apresentar uma conclusão óbvia, existindo 52% que classificam o panorama acústico do jardim entre “suficiente” e “ótimo”, 9% apresentam uma opinião neutra, e 39% dos inquiridos classificam o jardim entre “péssimo” e “sofrível”. Já na classificação global (figura 7.13), 95% classifica o jardim entre “suficiente” e “ótimo”, evidenciando que, mesmo com a presença do ruído rodoviário, este não era um fator preponderante que colocasse em risco a experiência global da visita ao jardim, estando a preocupação geral dos inquiridos em aspetos mais relacionados com o jardim como infraestrutura, nomeadamente falta de bancos ou caixotes do lixo, do que propriamente a paisagem sonora do mesmo.

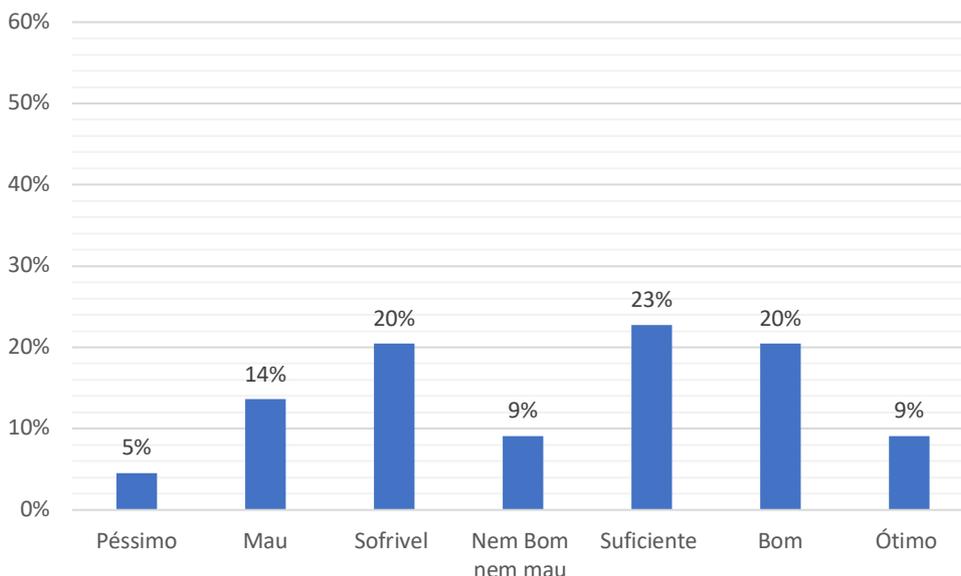


Figura 7.12: Resultados da questão nº 14, referente à avaliação acústica do jardim por parte dos inquiridos.

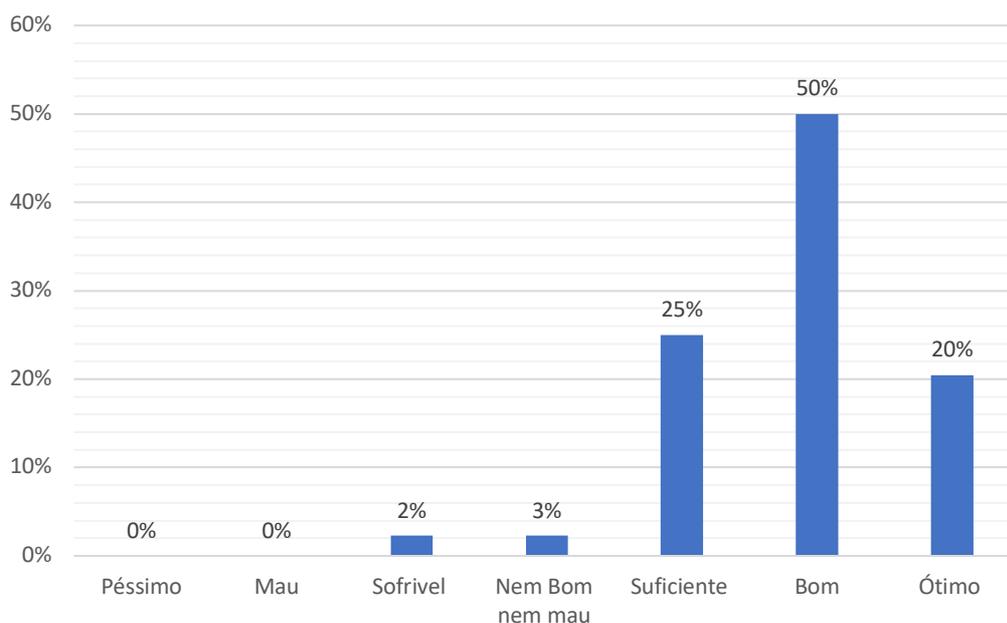


Figura 7.13: Resultados da questão nº 15, referente à avaliação global do jardim por parte dos inquiridos.

Em suma, e analisando os resultados na globalidade, é notório que o ruído rodoviário é perceptível pela maioria dos inquiridos, já o grau de incomodidade que este provoca vai depender de cada indivíduo, levando a concluir que o ruído é uma constante adquirida no Jardim Botânico do Porto, sendo óbvio que, até certo nível, o ruído apresenta um grau de incomodidade para a grande maioria dos inquiridos, mas “compreendido”, tendo em consideração a localização do mesmo.

Tendo em foco um plano de ação na mitigação do ruído rodoviário no interior do jardim, é necessário ter em atenção alguns fatores como a preservação de diversos sons destacados pelos inquiridos, como é o caso dos sons dos pássaros e do vento. Todavia estas medidas devem ser o menos intrusivas possíveis, ou seja, devido à classificação global do jardim. O plano de ação não deve interferir com os restantes pontos positivos, devendo ser tomada especial atenção na sua elaboração de modo a que não degrade outros aspetos não relacionados com o ruído, nomeadamente, o aspeto estético.

Embora o ruído seja um fator incomodativo (a vida quotidiana aliada à envolvente citadina), o Jardim Botânico continua a apresentar um local calmo em que os inquiridos valorizam outros fatores como as interações pessoais e a interação com o espaço do jardim, valorizando a diversidade vegetal e o amplo local que o mesmo proporciona para a realização de diversas atividades, proporcionando um escape da vida de uma grande metrópole, apresentando um local propício ao desenvolvimento de diversas atividades como leitura, estudo, caminhada, fotografia ou simplesmente descanso.

8

Medidas de Mitigação de Ruído

8.1. Simulações Computacionais

Com o intuito de encontrar uma forma de barreira acústica ideal para o local em questão, foi utilizado um *software* específico para simulação de paisagens sonoras, ou seja, indicado para simular e prever a variação do ruído com a interferência de estradas, topografia e edifícios encontrados no local. O *software* utilizado, o CADNA-A [57], é dos *softwares* mais utilizados para cálculo, apresentação ou previsão de ruído exterior, sendo importante para o estudo de ruído citadino, de centrais industriais, entre outros locais, como parques de estacionamento, autoestradas ou caminhos de ferro.

Antes de ser possível utilizar o *software* CADNA-A com as especificações do Jardim Botânico do Porto, foi necessário utilizar um levantamento topográfico do mesmo, gentilmente cedido pela direção do Jardim Botânico. O levantamento, em formato AutoCad, apresentava alguma discrepância, nomeadamente a nível de altitudes, quando foi realizada uma comparação com os dados fornecidos pela Câmara Municipal do Porto, os valores do Jardim Botânico, rua do Campo Alegre e Via de Cintura Interna, foi detetada uma diferença de aproximadamente 28 m nos valores de altitude, valores esses que foram corrigidos.

Com a modelação inicial do terreno e conseqüente importação do ficheiro, foi necessário recriar as condições existentes no local, ou seja, com a utilização dos resultados das medições previamente, foram introduzidos muros, edifícios, desníveis e motas de terra, assim como contagem de tráfego da via de aceleração e VCI, foi possível recriar o mais possível a situação atual, tentando encontrar um ponto de comparação entre os pontos de medição e as medições realizadas no local. De notar que o ponto 4 apresenta uma discrepância acentuada, na ordem dos 9 dB(A). Como é o único ponto que apresenta um desvio maior, apresentando os outros pontos desvios inferiores a 2 dB(A), não foi possível corrigir este valor não tendo sido encontrado o real motivo da diferença, podendo apenas especular-se que se pode tratar de um erro de medição, originado por um evento pontual que ocorreu durante o período de medição ou um erro no *software*, ou seja, devido à complexidade topográfica presente na envolvente deste ponto de medição em específico, não foi possível retificar a simulação de forma a encontrar uma concordância entre os dois valores.

Tomando como referência os valores de L_{Aeq} presentes no quadro 6.2 do capítulo 6, a figura 8.1, apresenta a simulação referente ao estado atual da Jardim Botânico. Os valores presentes no quadro 8.1 representam os valores de L_{Aeq} obtidos na tentativa de recriar a situação atual do jardim (simulação Tipo 0). Como é possível analisar pela figura 8.1, a paisagem sonora é fortemente influenciada pela VCI, apresentando valores de L_{Aeq} predominantemente a vermelho (valores superiores a 60 dB) e com cor magenta junto à fronteira com a VCI (valores superiores a 70 dB).

Quadro 8.1: Comparação dos valores de L_{Aeq} obtidos na simulação da simulação Tipo 0 (situação atual) e os resultados reais medidos.

Ponto	L_{Aeq} (dB)	
	Simulação Tipo 0	Real
1	73,9	73,4
2	60,6	59,2
3	53,9	53,0
4	62,1	53,5
5	71,1	71,9
6	73,8	73,0

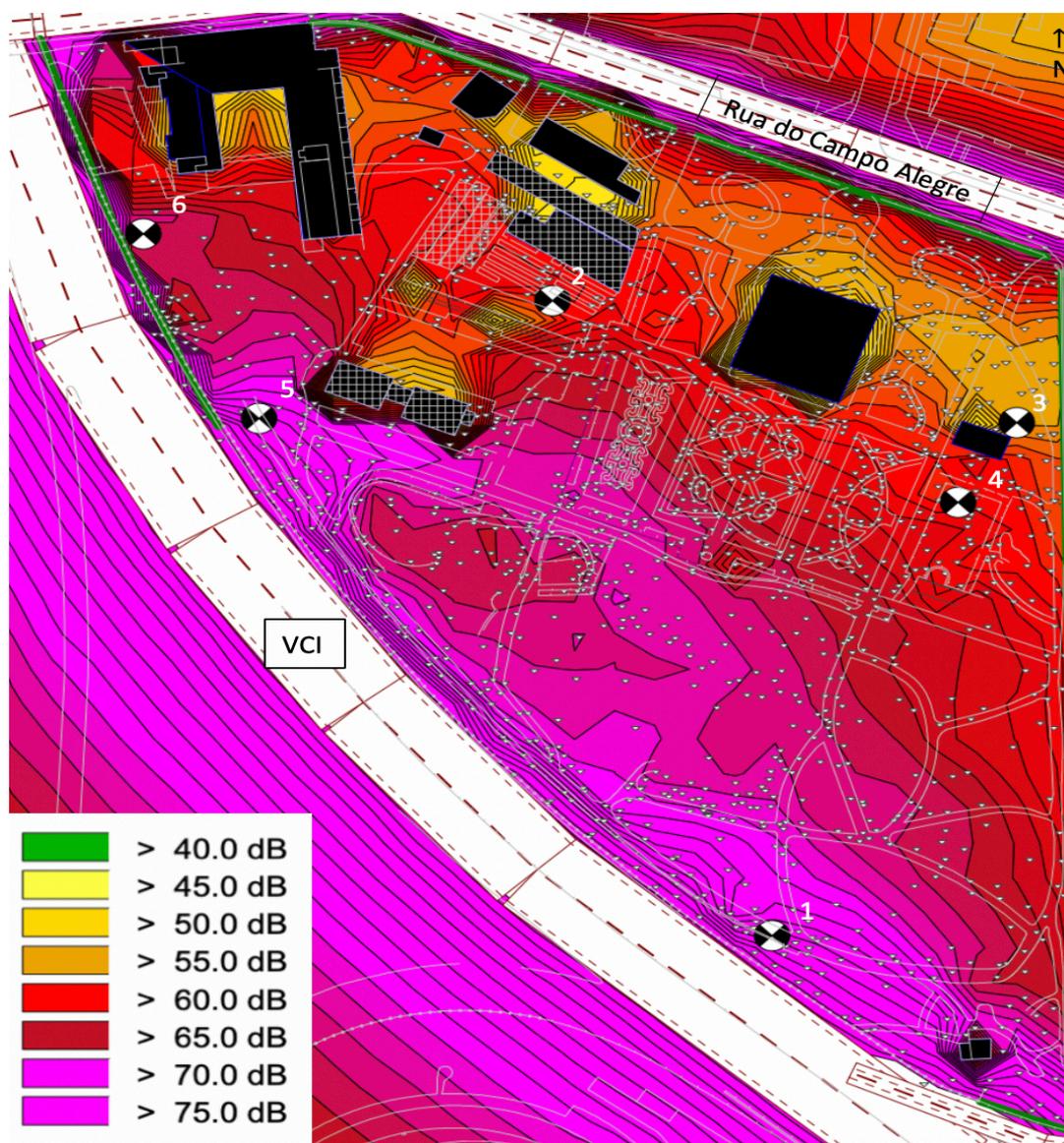


Figura 8.1: Simulação dos valores de L_{Aeq} Tipo 0, mapa da paisagem sonora atual do Jardim Botânico do Porto. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira atual e a preto os edifício.

Com o término da modelação da situação atual do Jardim Botânico, foram exploradas diferentes alternativas de mitigação de ruído, nomeadamente através da implementação de diferentes tipos de barreira. Foram explorados 4 tipos diferentes de barreiras, o tipo A é uma barreira que acompanha todo o comprimento da VCI com uma altura de 3,7 m de altura, o tipo B apresenta a mesma forma da barreira com 4 m de altura e com barreiras colocadas estrategicamente no interior do jardim com 2,5 m de altura, o tipo C apresenta também uma barreira que acompanha o comprimento da VCI com 5 m de altura e o tipo D que apresenta uma barreira de 3,7m de altura em zig-zag, alternando acrílico com betão armado.

A figura 8.2 apresenta a primeira possibilidade de solução, Tipo A, é apresentada uma barreira inteira absorvente, com 3,7 m de altura, que acompanha toda a periferia do jardim ao longo da VCI. Comparando a figura 8.2 com a figura 8.1 é notória a diferença de cores, tendo sido erradicado quase completamente o lilás (>70 dB), e apresentando maioritariamente uma predominância do amarelo e laranja (entre 50 e 60 dB).

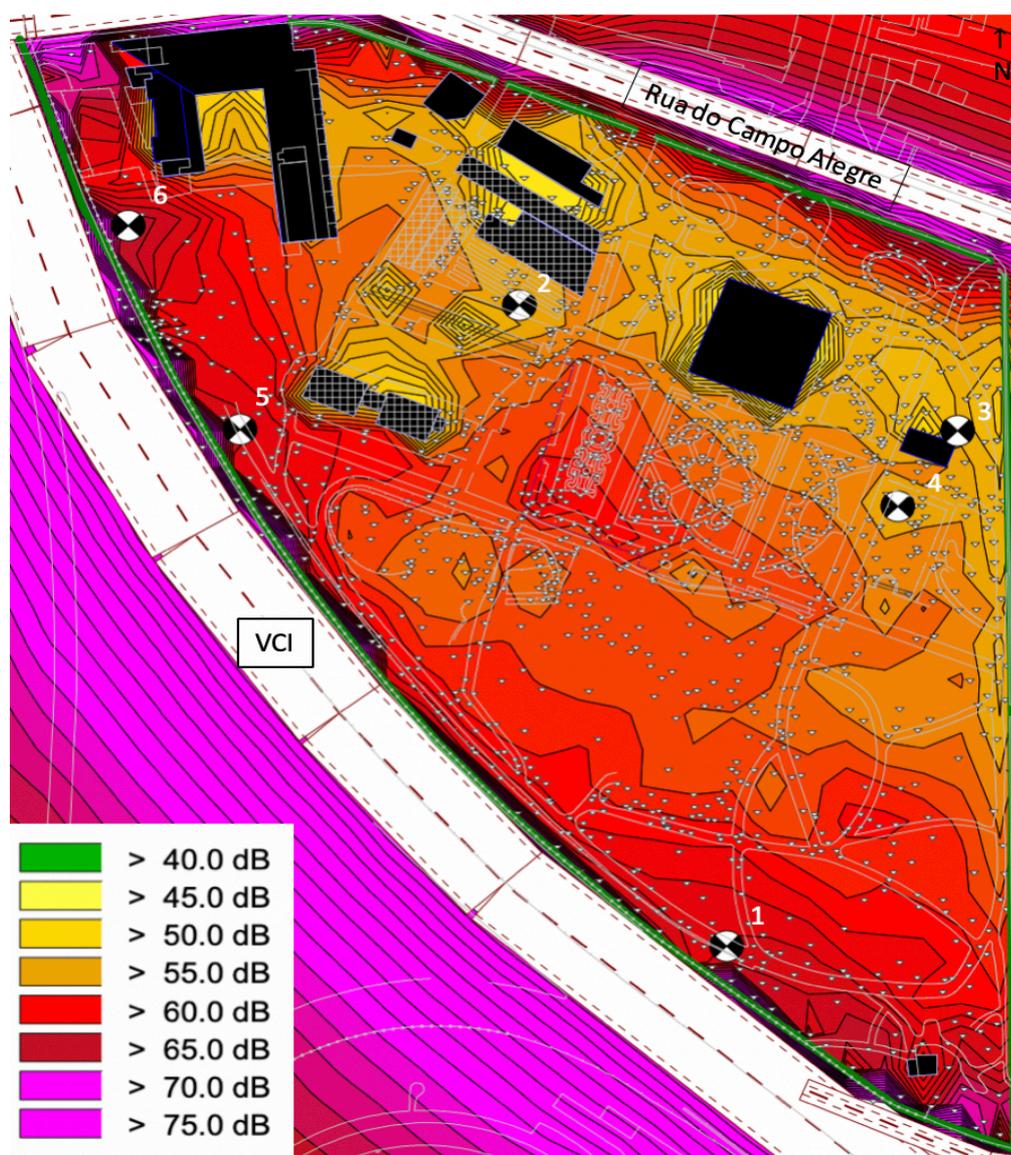


Figura 8.2: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira tipo A. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.

Através da análise do quadro 8.2 é notória a redução do nível sonoro, no ponto 1 foi conseguida uma redução de 10,5 dB. Como seria de esperar, a maior redução sonora foi conseguida junto da barreira, analisando a coluna do ΔL_A , podemos ver a redução conseguida em cada ponto sendo e como seria de esperar, maior com a aproximação da VCI. A figura 8.3 apresenta um mapa que representa a redução sonora existente em cada região do J.B. representando a subtração da malha da Simulação 1 com a malha da simulação da barreira Tipo A.

Quadro 8.2: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo A, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 3,7 m, em comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual).

Ponto	L_{Aeq} (dB)		ΔL_A dB
	Simulação Tipo A	Simulação Tipo 0	
1	63,4	73,9	-10,5
2	55,9	60,6	-4,7
3	52,8	53,9	-1,1
4	55,3	62,1	-6,8
5	66,6	71,1	-4,5
6	63,9	73,8	-9,9

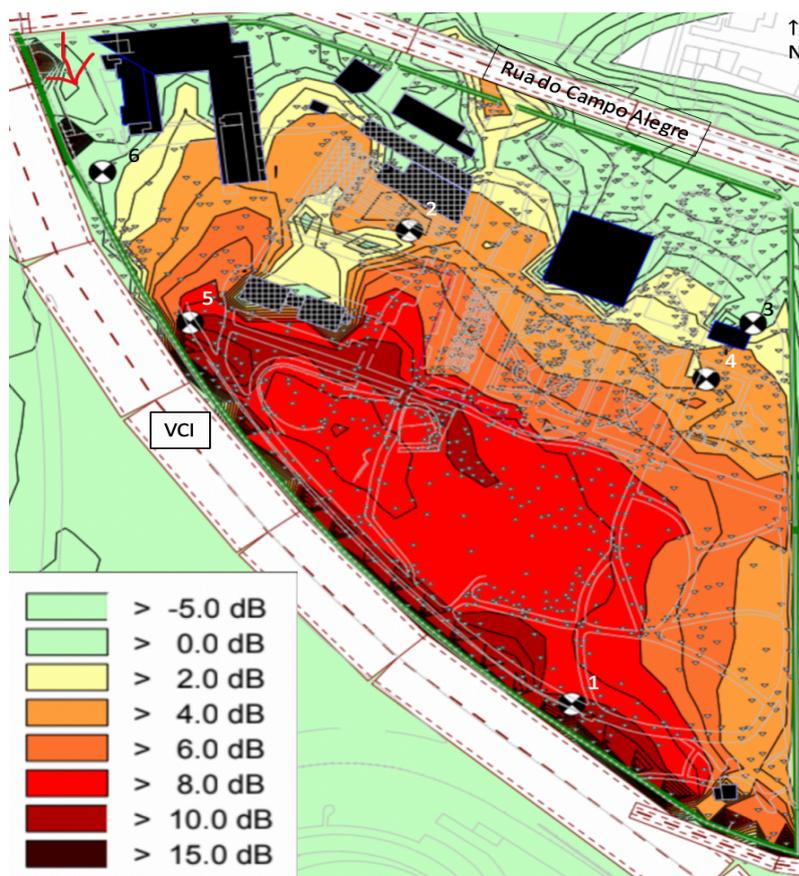


Figura 8.3: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo A.

A partir da figura 8.3, o local que apresenta uma redução sonora maior está representado a vermelho e está presente na zona central do jardim perto da VCI. Como seria de esperar, a zona junto da casa principal (Casa Andresen) está apresentada a verde, evidenciando que não ocorreu variação face à Simulação Tipo 0 (situação atual), também a zona no topo da imagem à esquerda está com coloração verde (não há melhoria) podendo presumivelmente haver contorno do ruído à barreira como está representado na figura pela seta cor de rosa.

De seguida foi explorada a hipótese de introduzir barreiras no interior do jardim, a simulação da barreira Tipo B, além da barreira, com a parte absorvente direcionada para a VCI, presente no exterior com 4 m de altura em toda a sua extensão, apresenta também barreiras interiores absorventes com 2,5 m de altura, colocadas estrategicamente tendo em atenção a topografia do terreno. A figura 8.4 representa a malha resultante da introdução da barreira Tipo B e as diferentes barreiras (barreira exterior B1 e as barreiras interiores B2) e o quadro 8.5 apresenta os resultados de L_{Aeq} resultantes e consequente redução sonora face à Simulação Tipo 0 (situação atual).

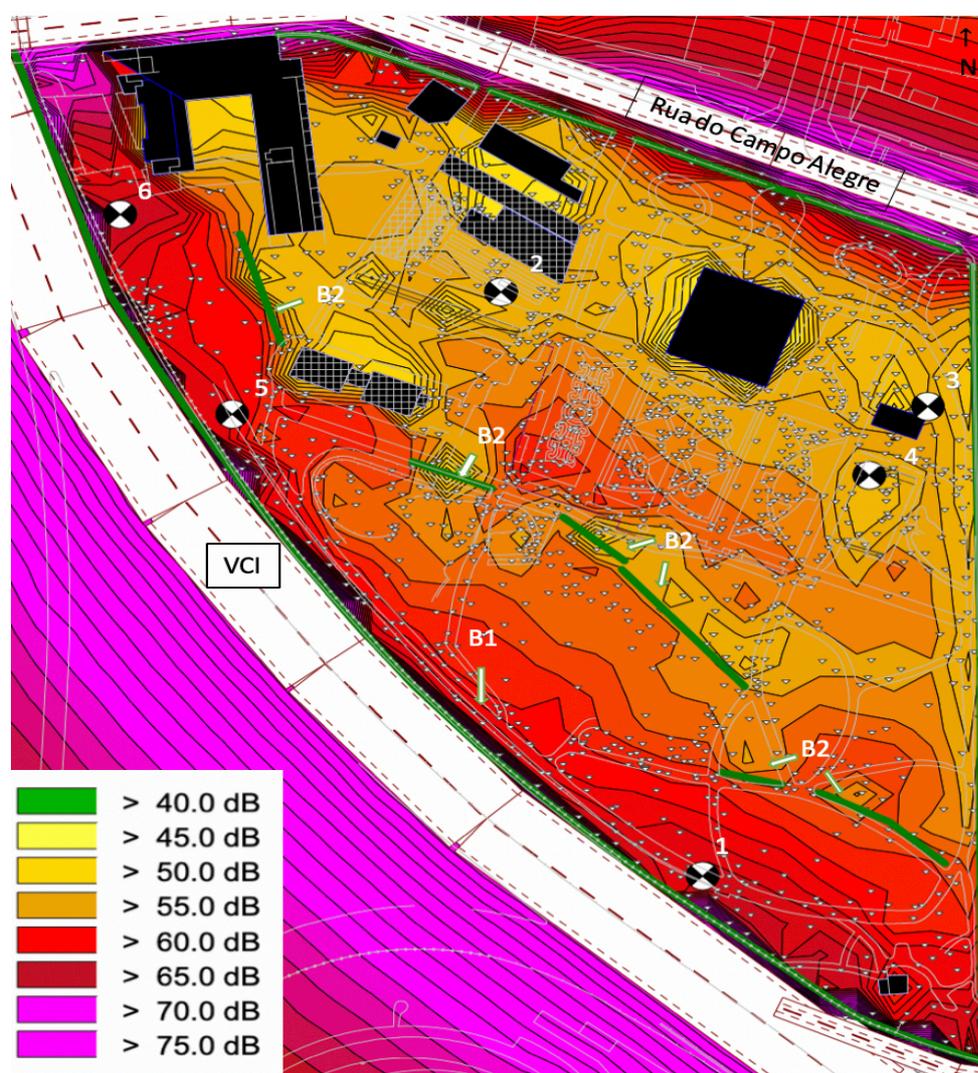


Figura 8.4: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira tipo B. Barreira exterior (B1) absorvente com 4 m de altura e barreiras interiores (B2) absorventes com 2,5 m de altura. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifícios.

Através da análise do quadro 8.3, podemos concluir que existiu uma redução sonora mais evidente que na simulação da barreira Tipo A, tendo sido conseguidas diferenças superiores, nomeadamente reduções de 10,4 dB no ponto 1 e 11,4 dB no ponto 6. De notar um aumento do valor de L_{Aeq} no ponto 3, sendo um dos efeitos adversos da colocação de barreiras acústicas, alterando o padrão de reflexão das ondas sonoras apesar do acréscimo de 0,5 dB não ser significativo. A simulação da barreira tipo B apresenta uma redução sonora superior em todos os pontos (exceto o Ponto 3) à simulação Tipo A. A figura 8.5 apresenta um mapa que representa a redução sonora existente em cada região do J.B. representando a subtração da malha da Simulação 1 com a malha da simulação da barreira Tipo B.

Quadro 8.3: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo B, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 4 m, assim como introdução de barreiras absorventes (B2) no interior do jardim com 2,5 m de altura e conseqüente comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual).

Ponto	L_{Aeq} (dB)		ΔL_A dB
	Simulação Tipo B	Simulação Tipo 0	
1	63,5	73,9	-10,4
2	54,7	60,6	-5,9
3	54,4	53,9	+0,5
4	53,4	62,1	-8,7
5	64,9	71,1	-6,2
6	62,4	73,8	-11,4

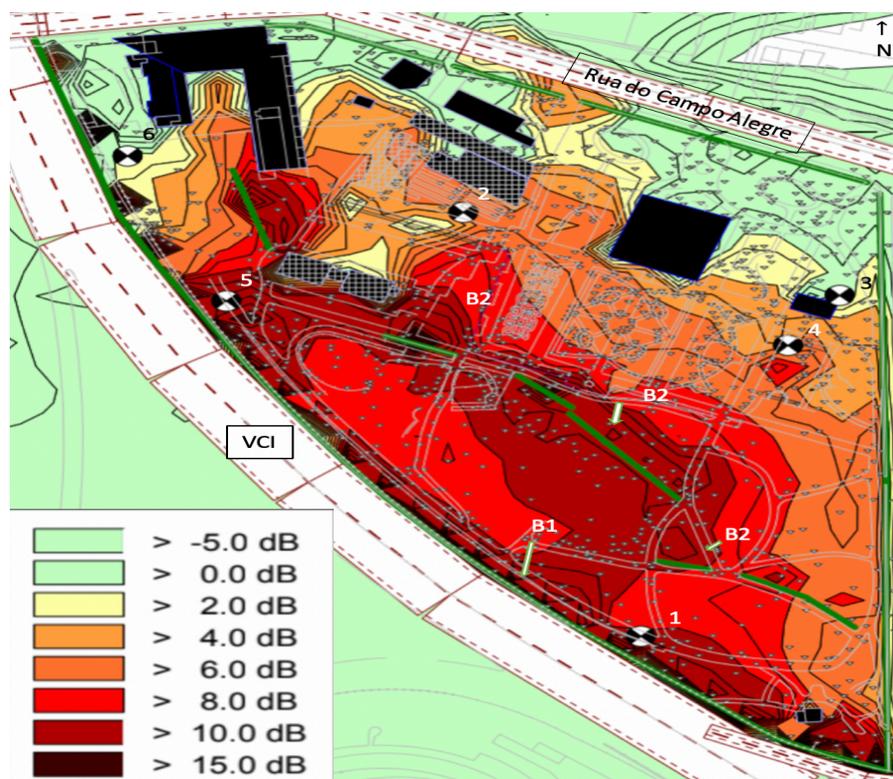


Figura 8.5: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo B.

A partir da figura 8.5, podemos concluir que o local que apresenta uma redução sonora maior, representado a vermelho, está presente na zona central do jardim perto da VCI, de notar uma maior apresentação de cores laranja e vermelha evidenciando uma redução sonora global superior à simulação Tipo A. Como seria de esperar a zona junto da casa principal esta apresentada a verde, evidenciando que não ocorreu variação face à Simulação Tipo 0 (situação atual).

A simulação da barreira Tipo C apresenta uma altura de 5 m de altura em toda a sua extensão, novamente com a parte absorvente direcionada para a VCI, embora seja mais degradante do ponto de vista visual, apresenta a solução mais viável para minimização do ruído do jardim. Com a implementação da barreira de 5 m, o mapa da paisagem sonora (figura 8.6) apresenta uma predominância de cores no amarelo e laranja (entre os 45 e os 60 dB(A)), apresentando pequenas secções a vermelho, canto sul do Jardim Botânico. De modo a reduzir custos, a barreira existente é mantida e é introduzida uma reentrância na barreira nova de modo a colmatar a entrada de ruído entre a Residência Universitária e a barreira existente, problema referido anteriormente na barreira Tipo A.

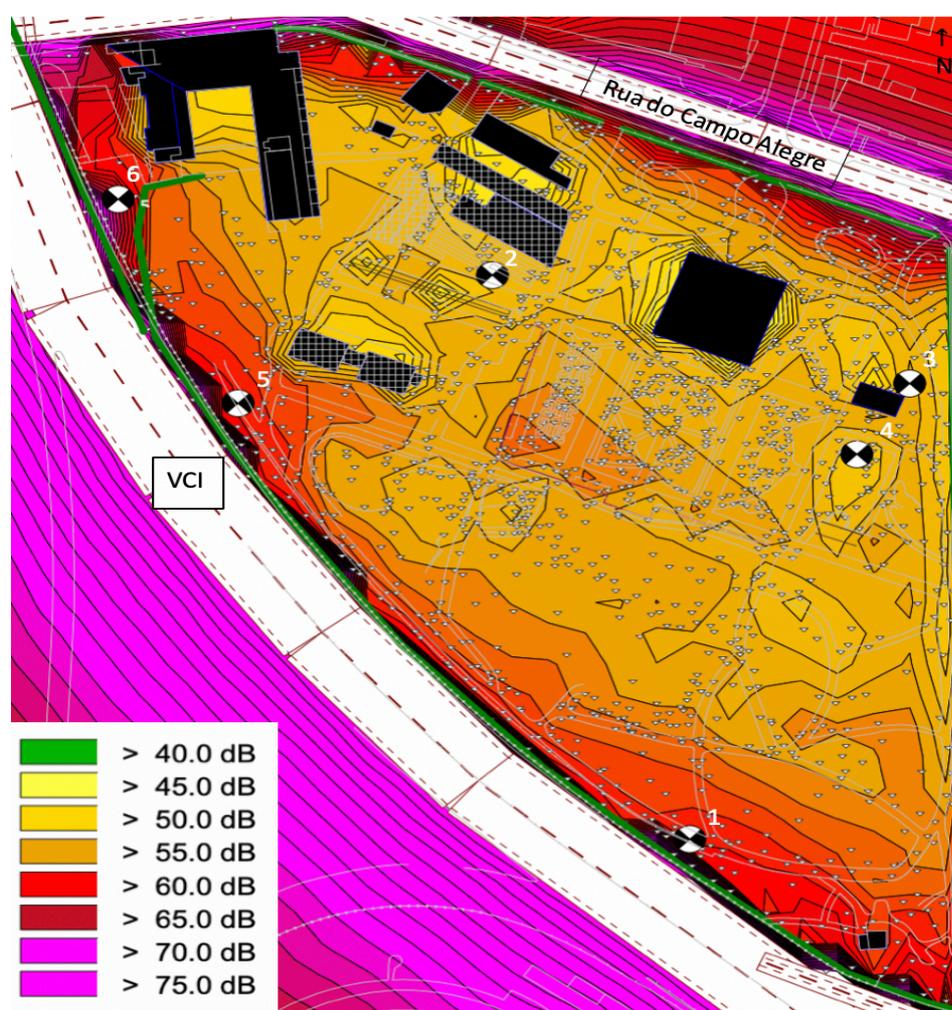


Figura 8.6: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira Tipo C, em que é apresentada uma barreira exterior com 5 m de altura. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifício.

Quadro 8.4: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo C, em que é apresentada uma barreira a toda a extensão do jardim face à VCI, com face absorvente virada para a mesma e com uma altura de 5 m, em comparação com os valores de L_{Aeq} retirados da Simulação Tipo 0 (situação atual)

Ponto	L_{Aeq} (dB)		ΔL_A dB
	Simulação Tipo C	Simulação Tipo 0	
1	60,1	73,9	-13,8
2	53,5	60,6	-7,1
3	54,5	53,9	+0,6
4	51,9	62,1	-10,2
5	66,7	71,1	-4,4
6	59,9	73,8	-13,9

Através da análise do quadro 8.4, podemos concluir que a hipótese Tipo C apresenta a redução sonora mais relevante de todas as hipóteses testadas. Tendo sido conseguidas reduções de quase 14 dB no ponto 1 e 6. De notar novamente um aumento do valor de L_{Aeq} no ponto 3, apesar do acréscimo de 0,6 dB não ser significativo. A figura 8.7 apresenta um mapa que representa a redução sonora existente em cada região do J.B. representando a subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) com a malha da simulação da barreira Tipo C.

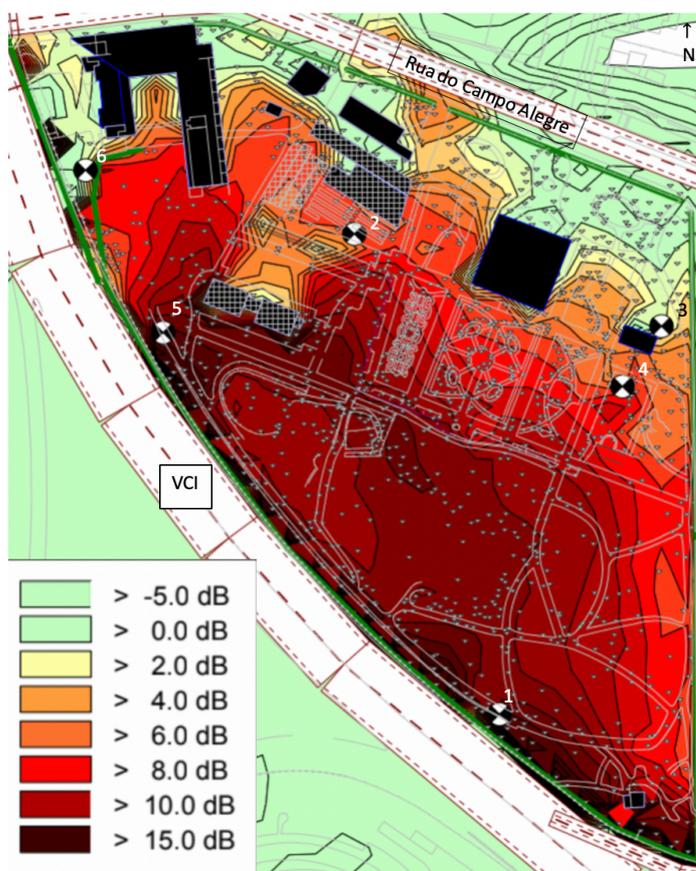


Figura 8.7: Mapa da redução sonora obtida por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo C.

A partir da figura 8.7, é possível visualizar a maior mancha vermelha de todos os mapas de redução sonora, a forte componente vermelha e bordô está presente em quase toda a zona entre a barreira e a casa principal (Casa Andresen), de notar novamente as zonas a verde que não apresentam diferença para a Simulação Tipo 0 (situação atual). A reentrância adicionada perto do ponto 5 conseguiu transformar a zona até agora a amarelo e laranja para uma zona vermelha (redução sonora superior a 8 dB).

A simulação da barreira Tipo D (figura 8.8), está representada um formado diferente de barreira, contínua e em *zig-zag*, composta por paredes de betão intercalado com painéis de acrílico com uma altura de 3,7 m. Através da análise das malhas e dos resultados de L_{Aeq} , estes apresentam reduções ou mesmo aumentos face aos resultados obtidos na simulação Tipo 0 (situação atual), não sendo uma solução eficaz nos presentes moldes. Dentro do tempo passível de ter sido utilizado na elaboração deste modelo não foi possível chegar a um grau de otimização mínimo para ser apresentado como uma opção viável de ser implementada, dito isto, e tendo em consideração as indicações dadas pela direção do Jardim Botânico do Porto, esta seria a barreira que melhor se enquadrava, sendo uma solução diferente à estrutura clássica de uma barreira acústica de autoestrada, apresentando uma disposição espacial diferenciada e que melhor se enquadrava para que os condutores da VCI pudessem visualizar o interior do jardim ao mesmo tempo de diminuía a visibilidade do interior para o exterior. Da parte de dentro do J. B., poderia ser aplicada algum género de película aderente no acrílico, podendo a solução passar pela aplicação de uma película de efeito espelhado.

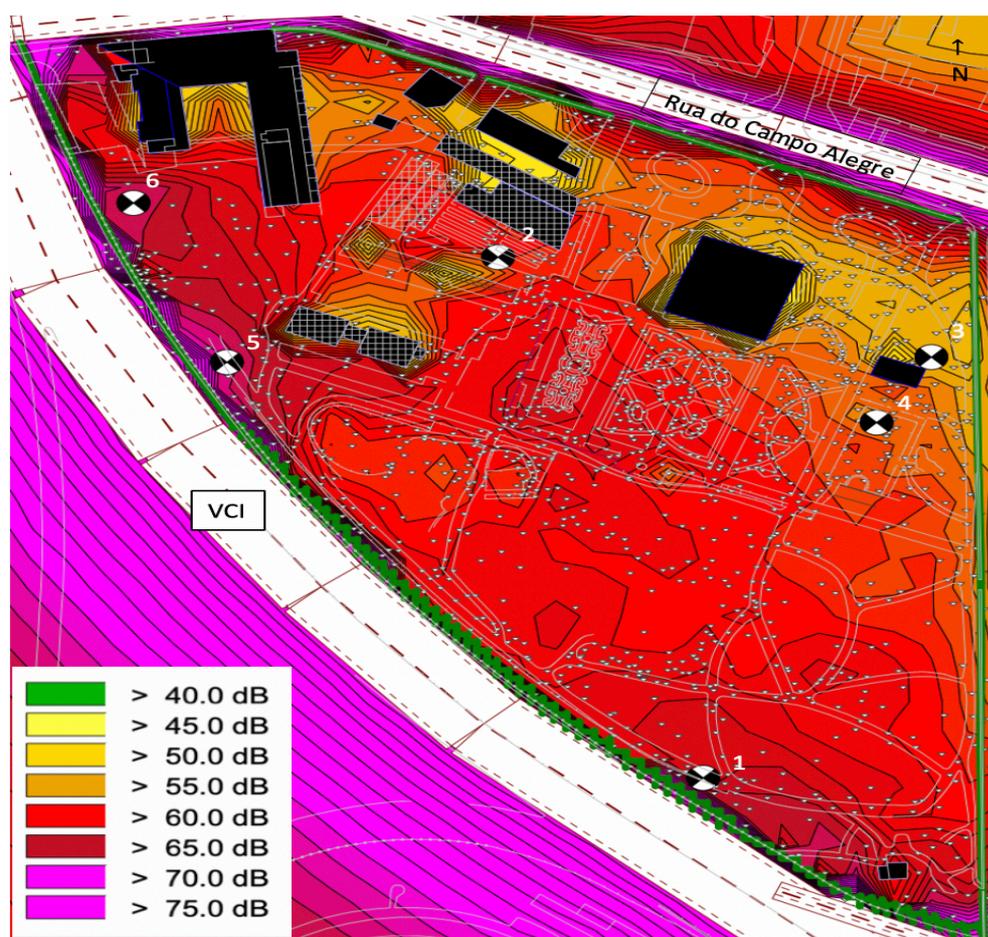


Figura 8.8: Simulação dos valores de L_{Aeq} do mapa da paisagem sonora com implementação da barreira Tipo D, em que é apresentada uma barreira exterior em zig-zag com 3,7 m de altura com paredes de betão e acrílico. Onde as marcações a verde representam muros e a barreira e a preto os edifícios.

O processo de desenvolvimento desta solução passou, numa fase inicial, pela elaboração de uma barreira unicamente em betão, com muros alinhados com direção sul-norte, estando de forma mais simplista numa disposição espacial oblíqua face à VCI, apresentando aberturas entre cada muro, de modo a cumprir o parâmetro de linha de visão para o interior. Tendo sido refutada esta solução, foi então analisada a incorporação de painéis acrílicos entre muros, com o intuito de criar uma barreira física sem espaços abertos, tendo ainda sido abordado a utilização de revestimentos dos muros em material refletor ou absorvente. Como foi explicado anteriormente, não foi possível otimizar este modelo, podendo a solução, numa fase inicial, passar pelo aumento da altura dos diferentes componentes.

Através da análise do quadro 8.5, podemos concluir que a hipótese Tipo D apresenta a redução sonora com os valores mais baixos sendo apresentada a redução máxima de 9,4 dB no ponto 1, de notar o aumento ocorrido nos pontos 2 e 3. Como já foi exposto anteriormente, não foi possível atingir o grau de otimização necessário para ser considerado uma hipótese viável.

Quadro 8.5: Valores de L_{Aeq} nos diferentes pontos de medição da simulação da barreira Tipo D, em que é apresentada uma barreira em zig-zag alternando entre betão e acrílico e consequente comparação com os valores de L_{Aeq} da simulação Tipo 0 (situação atual).

Ponto	L_{Aeq} (dB)		ΔL_A dB
	Simulação Tipo D	Simulação Tipo 0	
1	64,5	73,9	-9,4
2	60,7	60,6	+0,1
3	54,5	53,9	+0,6
4	58,1	62,1	-4,0
5	66,8	71,1	-4,3
6	68,2	73,8	-5,6

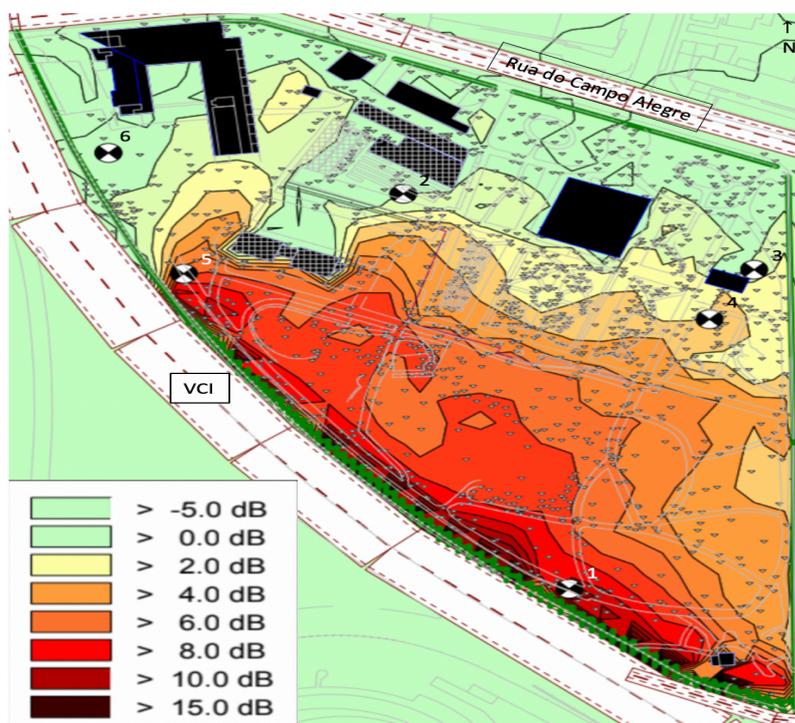


Figura 8.9: Mapa da redução sonora obtido por subtração da malha da Simulação Tipo 0 (situação atual) pela malha da simulação Tipo D.

A análise do mapa de redução sonora da simulação Tipo D, figura 8.9, é aparente a baixa melhoria da paisagem sonora face à simulação Tipo 0 (situação atual), estando o mapa marcado predominantemente pela cor verde, evidenciando que os valores de L_{Aeq} se mantiveram constantes nas duas simulações, Tipo D e Tipo 0, de notar a redução evidente da cor vermelha, evidenciando novamente uma baixa eficácia de redução sonora comparando com os mapas de redução sonora anteriores (Tipo A, B e C)

De seguida a figura 8.10 apresenta em *zoom* o formato em *zig-zag* da barreira, de notar a parede acrílica (D1) e o muro de betão (D2).



Figura 8.10: Pormenor do formato da barreira em que está representado o acrílico (D1), e o muro de betão (D2).

Por fim, a título meramente ilustrativo, a figura 8.11 representa a barreira presente na figura 8.8, de notar a falta do perfil ómega para proteção de embate rodoviário. A parede em acrílico apresenta a parte inferior em betão de modo a proteger o mesmo de possíveis colisões rodoviárias.



Figura 8.11: Render ilustrativo de um possível formato de uma barreira acústica do Jardim Botânico do Porto [Foto do autor]

O quadro 8.6 apresenta em resumo os valores de ΔL_A , representando a diferença entre a malhada simulação Tipo 0 (situação atual) e as diferentes malhas (Tipo A, B, C e D), assim como a média aritmética que representa, embora de maneira pouco científica, a redução sonora média de cada tipo de simulação.

Quadro 8.6: Resumo dos valores de ΔLA , que expressa a diferença entre os resultados da simulação Tipo 0 (situação atual) e os resultados das alternativas testadas (Tipo A, B, C e D).

Simulação	ΔLA (dB)						Média Aritmética
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	
Tipo A	10,5	4,7	1,1	6,8	4,5	9,9	6,3
Tipo B	10,4	5,9	-0,5	8,7	6,2	11,4	7,0
Tipo C	13,8	7,1	-0,6	10,2	4,4	13,9	8,1
Tipo D	9,4	-0,1	-0,6	4,0	4,3	5,6	3,8

Como forma de referência, foi criado um “orçamento” indicativo do custo de uma barreira com as características das simulações Tipo A, B e C, para tal, só foram contemplados custos dos materiais utilizados com valores de referência [7]. Na tabela 8.7 são apresentados valores monetários indicativos dos diferentes materiais utilizados para a construção das diferentes simulações realizadas (Tipo A, B e C), a simulação Tipo D não foi contemplada por não ser apresentada como uma solução viável nos presentes moldes. Para cada simulação são apresentadas 6 hipóteses de construção, duas soluções passam para uma barreira integral num só material (sem painéis acrílicos), compostas por painéis metálicos com face absorvente e painéis de betão armado pré-fabricado revestidos com betão-madeira, e duas soluções com incorporação de painéis acrílicos, 40 % e 60 % da barreira total, para cada um dos materiais descritos anteriormente, betão-madeira e painéis metálicos.

Quadro 8.7: Diferentes materiais utilizados no "orçamento" de referência assim como custo por m² indicativos [7]

Tipo de barreira	Custo aproximado €/m ²
Painéis de betão armado pré-fabricado revestidos com betão-madeira (uma face)	165
Painéis metálicos com uma face absorvente	154
Painéis em madeira absorvente com lã mineral no interior	176
Painéis transparentes em acrílico extrudido (20 mm espessura)	165
Betão pré-fabricado	116

De seguida, no quadro 8.8 são apresentadas as diferentes soluções propostas assim como o custo total com preços indicativos. No Tipo B em especial, as barreiras interiores estão contempladas em todos os preços indicativos referentes a este Tipo, foi estimada a necessidade de pelo menos 100 m de barreira interior em painéis de madeira absorvente com lã mineral no interior, perfazendo um total indicativo de 44 mil euros.

Quadro 8.8: Preço indicativo da implementação das Barreiras Acústicas de cada Tipo A, B e C.

Solução	Preço indicativo total (10 ³ €)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Painel metálico com uma face absorvente	256	321	347
Painel metálico com uma face absorvente e 40% do comprimento total com painel acrílico	254	310	308
Painel metálico com uma face absorvente e 60% do comprimento total com painel acrílico	253	305	289
Painéis de betão armado pré-fabricado revestidos com betão-madeira (uma face)	275	341	371
Painéis de betão armado revestidos com betão-madeira e 40% do comprimento total com painel acrílico	265	322	323
Painéis de betão armado revestidos com betão-madeira e 60% do comprimento total com painel acrílico	260	313	299

8.2. Melhoria da paisagem sonora interior através da introdução de sons naturais

Uma possível solução possível de ser implementada no interior do J.B. seria semelhante ao estudo desenvolvido por Nilsson *et al.* [58] mostra a capacidade de mascaramento de ruído rodoviário por parte do som de uma fonte de água presente no interior de um parque, mostrando resultados positivos num raio de 20 a 30 m da fonte de água, efeito este também válido para zonas situadas perto do mar. Este estudo também refere a importância da utilização de estímulos sonoros naturais na melhoria da qualidade acústica do parque, aumentando o ruído de fundo e diminuindo a percepção do ruído rodoviário.

Como qualquer intervenção possível, o mascaramento apresenta falhas. Para ser realmente eficaz, o som produzido pela fonte de água tem de ser superior a 10 dB(A) em relação à fonte de ruído rodoviário. No entanto, no estudo realizado por Nilsson *et al.* [58], o ruído rodoviário não era totalmente mascarado pela fonte de água, visto que, estando a fonte ligada, esta só aumentava o nível global da paisagem sonora de 5 a 10 dB(A), possibilitando assim um mascaramento parcial do ruído. É possível alcançar uma redução do ruído numa pequena área a volta da fonte, onde realmente acontece o efeito de mascaramento, esta área, apelidada por Brown e Rutherford [59], é definida por zona de influência, onde a intensidade do ruído é reduzida significativamente, mas continuando perceptível. Em vias de elevado fluxo de tráfego, esta técnica de utilização de fontes de água apresenta limitações, não sendo possível mascarar o ruído de tráfego nas zonas de exclusão [59].

Como os ruídos de baixa frequência são mais difíceis de mascarar que os de alta frequência e, visto que o ruído rodoviário apresentar um espectro predominante nas frequências baixas, este é de mais difícil mascaramento, existindo, por isso, uma assimetria no mascaramento por parte de um som de uma fonte de água [60], facto este que é validado por Bolin *et al.* [61], em que, utilizando sons naturais, predominantemente som das ondas do mar e de vegetação, foi possível mascarar parcialmente o ruído proveniente de turbinas eólicas. Este estudo demonstra as possibilidades e as falhas da utilização de sons naturais para mascaramento de ruído antropogénico, podendo ser, em parte, uma mais valia para redução da percepção do ruído rodoviário dentro de um jardim.

No caso específico do Jardim Botânico do Porto, estão presentes diversos corpos de água espalhados pelo jardim, nomeadamente lagos de diferentes dimensões. Estes lagos poderiam ser modificados, começando pela introdução de chafarizes ou quedas de água, tentando ajustar o fluxo de modo a criar um efeito de mascaramento que se sobreponha ao ruído proveniente da VCI, podendo também ser explorada a hipótese de criação de novos corpos de água colocados em pontos estratégicos do jardim.

8.3. Paisagem sonora artificial

Um trabalho desenvolvido por Licitra *et al.* [62], refere a importância de arranjar formas de mascarar o ruído antropogénico. Uma das soluções apresentadas é a criação de uma paisagem sonora artificial, que apresenta melhorias a nível subjetivo e objetivo das características acústicas e do conforto/prazer da paisagem sonora.

Estas faixas sonoras artificiais têm como base a paisagem sonora do local, utilizando para isso *softwares* próprios para o efeito. O objetivo desta modelação informática passa por criar uma faixa única, harmoniosa e artística, que se enquadre com o local de modo a não ser alarmante, fora do contexto ou culturalmente competitiva. O sistema é composto por altifalante e microfone, estrategicamente colocados em locais onde o nível sonoro é constante e uniforme (figura 8.12).



Figura 8.12: Visitantes parados sob um altifalante suspenso numa árvore [62]

Esta técnica revela uma abordagem interessante, a utilização de uma fonte sonora artificial para a mitigação de ruído de locais acusticamente degradados, sendo eficaz em locais em que outro tipo de intervenção é impossível ou demasiado dispendiosa, nomeadamente em locais em que não é possível a implementação de medidas mitigadoras entre o emissor e o recetor, como por exemplo a implementação de barreiras acústicas.

9

Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

9.1. Conclusões

O presente trabalho permitiu caracterizar e analisar a paisagem sonora do Jardim Botânico do Porto, através de uma caracterização objetiva (medições *in situ*), e de uma caracterização subjetiva (inquéritos sócio-acústicos), de modo a analisar a percepção e sensibilidade dos visitantes à questão do ruído. Por fim, a apresentação de possíveis medidas de mitigação pela utilização de simulações informáticas. Deste modo, a junção dos resultados obtidos das abordagens atrás referidas, permitiu, em última instância, caracterizar de que modo o ruído varia nas diferentes zonas do Jardim Botânico do Porto.

Como seria de esperar, os locais mais afastados da Via de Cintura Interna do Porto apresentaram valores inferiores de L_{Aeq} face aos pontos mais exteriores do jardim, pela atenuação devido ao aumento da distância ao principal foco de ruído e pela presença de diversos obstáculos, funcionando como barreiras acústicas, nomeadamente habitações, muros ou motas de terra.

A fonte de ruído dominante é o tráfego rodoviário, mas foram também audíveis outras fontes sonoras como conversas dos visitantes, passos na gravilha, diversas aves e, em certos pontos, o som produzido pelos repuxos de água dos lagos existentes. Nenhuma destas fontes foi suficiente para mascarar o ruído rodoviário.

Deste modo, foi possível definir dois jardins “distintos” dentro do Jardim Botânico. Um jardim “bom” e um jardim “mau”, em que a parte junto à Casa Andresen apresentava valores de L_{Aeq} mais reduzidos que os presentes nas zonas mais próximas da VCI e das estufas. As diferenças foram significativas, existindo uma diferença máxima entre o ponto mais silencioso e o mais ruidoso de 20 dB(A). O mais ruidoso, o ponto 1, com 73 dB(A) e o ponto mais silencioso, o ponto 3, com 54 dB(A).

Pode concluir-se, através da análise da degradação da paisagem sonora (parâmetro ΔL_A), que a maior degradação ocorreu nos pontos mais próximos da VCI, nomeadamente os pontos 1, 5 e 6 com valores entre 8 e 10 dB(A) estando na ponta oposta os pontos 2, 3 e 4 com valores entre 4 e 6 dB(A), respetivamente, não sendo uma diferença muito elevada, evidenciando aqui uma estabilização do ruído no jardim.

Foi também testada a eficácia da barreira presente no local, tendo sido registada uma redução de só 1 dB(A) (L_{Aeq} de 71,9 dB a uma distância de 4 m atrás da barreira face aos 73,0 medidos com visão direta da VCI). O principal motivo observado para esta baixa redução prendesse pela baixa altura da mesma.

Relativamente aos resultados revelados pelo inquérito “sócio-acústico”, foi concluído que o Jardim Botânico do Porto, durante a semana, é visitado por uma população, maioritariamente, jovem com idades compreendidas entre os 18 e 30 anos (55 %), em que 43% são do género feminino e 57 % são do género masculino (66 %).

Quando questionados sobre uma possível alteração que realizariam, apenas 27% apresentou alterações à paisagem sonora, 39 % referiram alterações estruturais e 20% referiram alterações na “manutenção” do jardim.

Quando questionados pelo aspeto que consideravam mais importante no jardim, 45% dos inquiridos apontaram a variedade vegetal, seguido do sossego, com 36 % como forma de escape à envolvente citadina.

Relativamente à paisagem sonora do jardim, os inquiridos distinguiram dois sons distintos, nomeadamente com 40% o ruído rodoviário, seguido de som de aves com 28 %.

Ficou claro que a avaliação acústica do jardim não apresenta uma conclusão óbvia, considerando que as respostas não foram conclusivas, existindo 52 % que classificam o panorama acústico do jardim entre “suficiente” e “ótimo”, 9 % apresentam uma opinião neutra, e 39 % dos inquiridos classificam o jardim entre “péssimo” e “sofrível”. Em oposição, a classificação global apresenta uma conclusão bem definida, em que 95 % dos inquiridos classificaram o jardim entre “suficiente” e “ótimo”, mostrando que o ruído, embora seja um fator incomodativo, não é um fator preponderante, havendo outros fatores com um peso maior como a flora e infraestruturas existentes.

Por fim, através da utilização de simulações informáticas, foi concluído que o melhor modelo de barreira e que melhor se aplicava à situação atual do Jardim Botânico, passaria pela implementação de uma barreira com 5 m de altura ao longo de todo o limite do jardim em relação à VCI.

Com as conclusões atrás referidas, é necessário reavaliar a importância do Jardim Botânico do Porto, tanto no panorama social como natural, dando ênfase à questão do ruído, mas não degradando os outros aspetos positivos do jardim. Embora seja importante retificar a questão do ruído, esta deve ser ponderada e realizada de modo a não colocar em risco a globalidade da experiência.

9.2. Desenvolvimentos futuros

No decorrer do estudo, foi possível encontrar pontos que, num desenvolvimento futuro, seriam de interesse investigar ou reanalisar, tentando, de certo modo, solidificar a visão da presença do ruído no Jardim Botânico, assim como encontrar uma estratégia de ação sólida que servisse para mitigar o ruído no mesmo ou noutros jardins de características semelhantes que sofrem da mesma “enfermidade”.

De forma global, o projeto de caracterização da paisagem acústica do Jardim Botânico deveria ser alargado a outros espaços verdes da cidade do Porto, nomeadamente os Jardins do Palácio de Cristal e, num futuro próximo, alargar o projeto a jardins espalhados nas várias cidades de Portugal. Seria vantajoso também, de forma a criar um mapa mais preciso, criar mais pontos de medição e repetir medições, além de aumentar os tempos de medição, abrangendo mais parâmetros de modo a solidificar a comparação de dados.

De que forma as alterações climáticas alteram a paisagem sonora?

Seria interessante averiguar esta vertente em futuros projetos, a fim de perceber de que modo a paisagem sonora altera com o decurso do ano e com a variação das estações, partindo do pressuposto que cada estação apresenta características únicas e padrões climatéricos. O presente projeto foi desenvolvido no Outono e início do Inverno, seria de interesse averiguar se, na Primavera e no Verão, os níveis de ruído se manteriam constantes ou se sofreriam alterações significativas, fruto das alterações climatéricas e da variação de tráfego das redondezas.

Além das oscilações climatéricas, a flutuação existente no tráfego e consequente sobrecarga, nomeadamente a variação de um dia útil para um período de fim-de-semana, feriados ou férias, provoca alterações significativas na paisagem sonora?

Devido a condições atmosféricas adversas e devido às especificidades do presente projeto, a amostra recolhida nos inquéritos sócio-acústicos representam apenas uma pequena parte dos visitantes do Jardim Botânico do Porto. Num futuro desenvolvimento, seria interessante alargar a amostra e estender a recolha de dados a outros períodos do ano, de forma a criar um panorama geral sobre a evolução da perceção dos inquiridos do ruído ao longo do ano civil, tentando averiguar a diferença entre as diferentes estações anuais.

Além da abordagem presente neste projeto, optando pela implementação de barreiras acústicas, seria de interesse, em conjunto com projetistas e arquitetos paisagistas, arranjar ou acrescentar, outro tipo de soluções, nomeadamente pela reestruturação da disposição espacial dentro do jardim ou pela incorporação de elementos com efeito de mascaramento.

Seria de interesse, e tendo em conta o efeito de mascaramento, medir o ruído provocado pela água dos chafarizes/fontes, tentando encontrar a melhor alternativa e resultados possíveis. Seria também de interesse estudar o ruído de pássaros de modo a uma possível utilização deste ruído de forma artificial, nomeadamente por meio de altifalantes, com o intuito de provocar mascaramento do ruído da Via de Cintura Interna.

Referências bibliográficas

- [1] Rousenau, H., *The ideal city*. Routledge, Oxon, 2007.
- [2] Van Tilburg, C., *Traffic and congestion in the Roman Empire*. Routledge, Nova Iorque, 2007.
- [3] Carvalho da Paz, E., Maria Coelho Ferreira, A., Henrique Trombetta Zannin, P. *Estudo comparativo da percepção do ruído urbano*. Revista de saúde pública, 2005, 467-472, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- [4] Weber, M. *The soundscape of quiet urban parks in Rotterdam assessment and review of research*. Inter noise 2011, 4-7 Setembro 2011, 4291-4299, Inter-Noise congress and conference proceedings, Osaka.
- [5] Ma, H., Wang, D. *Research on Soundscape Elements*. 37 th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 26-29 Outubro 2008, 2898-2904 Inter-Noise congress and conference proceedings, Shanghai.
- [6] Beristain., Sergio. *Noise in parks, gardens and public squares*. The 2005 Congress and Exposition on noise control engineering, 7-10 Agosto 2005, 1619-1624, Inter-Noise congress and conference proceedings, Rio de Janeiro.
- [7] Carvalho, A. P. O. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Edição 8.13, FEUP, Porto, 2017.
- [8] D. Kent, R., Read, C. *Análise Acústica da fala*. Cortez Editora, São Paulo, 2015.
- [9] Luiz Spada. A. *O ouvido Humano*. 2015,
http://www.attack.com.br/artigos_tecnicos/ouvido_humano.pdf, acessado a 15/9/2019.
- [10] Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S. *Environmental noise*. Holanda, 2000.
- [11] Patrício, J. *Acústica de Edifícios, - 7ª edição*. Engebook, Porto, 2018
- [12] Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., Stansfeld, S. *Auditory and non-auditory effects of noise on health*. PMC, Filadélfia, 2014.
- [13] Meteored- <https://www.tempo.pt/porto-sactual.htm>., acessado a 12/9/2019.
- [14] Norma Internacional ISO 9613-2, *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*, ISO, Geneva, 1996.
- [15] Carvalho, A. P. O., Cleto, R. *O som e o ruído nos jardins do Porto*. VIII Congresso Ibero-americano de Acústica, 1-3 Outubro, SPA, Évora, 2011.
- [16] Carvalho, A. P. O. *Jardins Urbanos da Cidade do Porto*. Viver na Cidade, FEUP, Porto, 1990.
- [17] Wong, C.Y., Lam, K. C., Hui, W. C. *Soundscape of urban parks in Hong Kong*. The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 22-25 Agosto, Inter-Noise, 2004.
- [18] Zannin, P. H. T., Ferreira, A. M. C., Szeremetta, B. *Evaluation of Noise Pollution in Urban Parks*. 423-433, Environ Monit Assess, Curitiba, 2006.
- [19] Brambilla, G. Maffei, L. Zambon, G. *Preserving natural quiet areas and urban parks*. Inter-Noise 2006, 3-6 Dezembro, Inter-Noise, 2006.

- [20] CE. *Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002 relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente*. Jornal das Comunidades Europeias, 2002.
- [21] Weber, M. *The Soundscape of Quiet Urban Parks in Rotterdam: Assessment and Review of Research Approaches*. Inter-Noise 2011, 4-7 Setembro, Inter-Noise, Osaka 2011.
- [22] Bouzir, T., Zemmouin, N., Berkouk, D. *Assessment and Analysis of noise Pollution in Biskra Public Gardens*. Technologies and Materials for renewable Energy, Environment and Sustainability, AIP Conference Proceedings, Birskra, 2018.
- [23] You, J. Lee, J. P. Jeon, J. Y. *Evaluating Water Sounds to Improve the Soundscape of Urban Areas Affected by Traffic Noise*. Noise Control Engineering Journal, Institute of Noise Control Engineering, Seul, 2010.
- [24] Mei, Y. X., ShuoXian, W. *Sound Environment Planning in Chinese Classical Garden*. 37th international congress and exposition on noise control engineering, 26-29 Outubro, Inter-Noise, Shanghai, 2008.
- [25] Boer, L. C., Schrotten, A. *Traffic noise reduction in Europe*. CE Delft, Holanda, 2007.
- [26] CCE. *Diretiva do Conselho relativa à aproximação dos Estados Membros respeitantes ao nível sonoro admissível e ao dispositivo de escape dos veículos motores 70/157/CEE*. Jornal oficial das Comunidades Europeias, 1970.
- [27] NP ISO 1996 -1. *Acústica – Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente – Parte 1: Grandezas fundamentais e métodos de avaliação*. Instituto Português da Qualidade. 2011.
- [28] NP ISO 1996 -2. *Acústica – Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente – Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente*. Instituto Português da Qualidade. 2011.
- [29] Matos, J., Fradique, J., Tavares, L., Guedes, M., Leite, M. J. *Guia pratico para medição de ruído ambiente*. Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora, 2011.
- [30] Agência Portuguesa do Ambiente: <https://apambiente.pt/>, acedido em 9/11/2019
- [31] Brüel & Kjær: <https://www.bksv.com/en> , acedido em 8/11/2019;
- [32] Antunes, S. Equipamento e calibrações. In *Curso sobre Aspectos Regulamentares e Normativos do Domínio do Ruído e das Vibrações*, Módulo VI, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2000.
- [33] Calibrador sonoro B&K tipo4231: <http://www.specman.pt/assets/4231.pdf>, acedido em 7/11/2019;
- [34] *Potência*: <http://www.celtaclub.com.br/forum/lofiversion/index.php?t94947.html>, acedido em 15/11/2019.
- [35] Guia Indicativo de Boas Práticas para a Aplicação da Diretiva 2003/10/CE “*RUÍDO NO TRABALHO*”, Comissão Europeia, 2007.
- [36] Precision integrating sound level meter type 2236, (User Manual), Brüel & Kjær Sound & vibration measurements A/S, Naerum, 1994;

- [37] História do porto: https://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_do_Porto: acessido em 26/9/2019
- [38] Cidade do Porto: https://pt.wikipedia.org/wiki/Porto#cite_note-17, acessido em 3/10/2019
- [39] Decreto lei nº 244/2002 de 5 de Novembro, Diário da República, 1ª Serie-A- Nº 255.
- [40] Barros, N., Brás, C. e Fontes, T. *Impacte do tráfego Rodoviário nas emissões da Cidade do Porto*. Porto, 2006.
- [41] Ponte da arrábida:
https://www.google.com/search?q=ponte+da+arrabia&sxsrf=ACYBGNSopnF6oalkBPmMRwlPOOMikr0X1g:1577374721559&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiy6dLf0tPmAhUJ1hoKHWezBUcQ_AUoAXoECBEQAw&biw=1440&bih=821#imgrc=2vQDHPtuoB2DmM: acessido em 26/9/2019.
- [42] Via de Cintura Interna do Porto: https://pt.wikipedia.org/wiki/Via_de_Cintura_Interna, acessido em 26/9/2019.
- [43] Via de Cintura Interna do Porto: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Porto#/media/Ficheiro:VCI.svg>, acessido em 3/10/2019.
- [44] Via de Cintura Interna do Porto:
[https://www.google.com/search?biw=803&bih=821&tbm=isch&sxsrf=ACYBGNTvmUWt7d2AH3uTiG05tg5eRtKaxQ%3A1569830451050&sa=1&ei=M7aRXd_WAo2SlwS69q_oBg&q=vci+barreiras+acusticas&oq=vci+barreiras+acusticas&gs_l=img.3...239859.246528..246765...0.0..0.194.2642.28j3....0....1.gws-wiz-img.....35i39j0i19j0i5i30i19j0i8i30i19j0i30j0i30i19.5o5vTHFtLVc&ved=0ahUKEwifvJGTivjkAhUNyYUKHT7C20Q4dUDCAc&uact=5#imgrc=a_a6bsYb7zT5tM](https://www.google.com/search?biw=803&bih=821&tbm=isch&sxsrf=ACYBGNTvmUWt7d2AH3uTiG05tg5eRtKaxQ%3A1569830451050&sa=1&ei=M7aRXd_WAo2SlwS69q_oBg&q=vci+barreiras+acusticas&oq=vci+barreiras+acusticas&gs_l=img.3...239859.246528..246765...0.0..0.194.2642.28j3....0....1.gws-wiz-img.....35i39j0i19j0i5i30i19j0i8i30i19j0i30j0i30i19.5o5vTHFtLVc&ved=0ahUKEwifvJGTivjkAhUNyYUKHT7C20Q4dUDCAc&uact=5#imgrc=a_a6bsYb7zT5tM;);, acessido em 26/9/2019.
- [45] *Relatório de tráfego na rede nacional de autoestradas*. Instituto da mobilidade e dos transportes I.P. (IMT.I. P). 2º Trimestre 2019, Lisboa, 2019.
- [46] *Suporte Biofísico e Ambiente, Estrutura de Caracterização e Diagnóstico*. Câmara Municipal do Porto. Abril de 2018.
- [47] Marques, F. P., P., Fernandes, C., Lameiras, J. M., Silva, S., Leal, I., & Guilherme, F. *Morfologia e Biodiversidade nos Espaços Verdes da Cidade do Porto. Livro I - Seleção das Áreas de Estudo*. Porto: CIBIO - Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos, Porto, 2014
- [48] Jardim Botânico do Porto: <https://jardimbotanico.up.pt/historia.php> , acessido em 25/9/2019.
- [49] Quinta do Campo Alegre:
[https://www.google.com/search?tbm=isch&sxsrf=ACYBGNRrsiSHyt9OHPFKTff4QxQKxI9RDw:1569772851131&q=quinta+do+campo+alegre&chips=q:quinta+do+campo+alegre,online_chips:jardim+bot%C3%A2nico&sa=X&ved=0ahUKEwi8vK3Js_bkAhUK3xoKHbVMCh4Q4IYILCgA&biw=803&bih=821&dpr=2#imgrc=DXPkDsbqW7p1LM](https://www.google.com/search?tbm=isch&sxsrf=ACYBGNRrsiSHyt9OHPFKTff4QxQKxI9RDw:1569772851131&q=quinta+do+campo+alegre&chips=q:quinta+do+campo+alegre,online_chips:jardim+bot%C3%A2nico&sa=X&ved=0ahUKEwi8vK3Js_bkAhUK3xoKHbVMCh4Q4IYILCgA&biw=803&bih=821&dpr=2#imgrc=DXPkDsbqW7p1LM:): , acessido em 25/9/2019.
- [50] Quinta do Campo Alegre:
https://www.google.com/search?tbm=isch&sxsrf=ACYBGNRrsiSHyt9OHPFKTff4QxQKxI9RDw:1569772851131&q=quinta+do+campo+alegre&chips=q:quinta+do+campo+alegre,online_chips:jardim+bot%C3%A2nico&sa=X&ved=0ahUKEwi8vK3Js_bkAhUK3xoKHbVMCh4Q4IYILCgA&biw=803&bih=821&dpr=2#imgrc=rRvlp-dEbjHmM: acessido em 25/9/2019.
- [51] Jardim Botânico do Porto:
<https://www.google.com/maps/dir//Jardim+Bot%C3%A2nico+do+Porto,+Rua+do+Campo+Alegre+1>

[191,+4150-181+Porto/@41.151255,-8.640889,2419m/data=!3m1!1e3!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0xd2465743913a96b0xb2f1a75a110f445c!2m2!1d-8.6425514!2d41.1537575](https://www.google.com/maps/@41.151255,-8.640889,2419m/data=!3m1!1e3!4m8!4m7!1m0!1m5!1m1!1s0xd2465743913a96b0xb2f1a75a110f445c!2m2!1d-8.6425514!2d41.1537575) , acedido em 15/9/2019.

[52] Jardim Botânico do Porto: https://jardimbotanico.up.pt/ficheiros/percursos_mapas/originais/plano-geral-1487181630.jpg , acedido em 25/9/2019.

[53] Instituto Português do Mar e Atmosfera: <http://www.ipma.pt/pt/index.html/>, acedido em 20/11/2019;

[54] *Google Maps* ©: <http://maps.google.pt>, acedido em 24/11/2019.

[55] Jardim Botânico do Porto: <http://maps.google.pt>, acedido em 20/11/2019

[56] Norma Portuguesa NP 4476, 2008: *Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*. IPQ. 2008.

[57] CADNAA-<https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa/>, acedido a 11/10/2020.

[58] Nilsson, M. E., Alvarsson, J., Rådsten-Ekman, M. e Bolin, K. *Auditory masking of wanted and unwanted sounds in a city park*. *Noise Control Eng. J.* 58, 5, pp. 524-531. 2010.

[59] Brown, A. L. e Rutherford, S. *Using the sound of water in the city*, *Landscape Australia*, 2, 103–107. 1994.

[60] Moore, B. C. J. *Frequency analysis and masking*, *Hearing*, edited by B. C. J. Moore, Academic Press, London, pp. 161–205. 1995.

[61] Bolin, K. Nilsson, M. E. e Khan S., *The Potential of Natural Sounds to Mask Wind Turbine Noise*, *Acta Acustica united with Acustica*, 96, 131–137. 2010.

[62] Licitra, G., Cobianchi M. e Brusci L. *Artificial soundscape approach to noise pollution in urban areas*. *Inter-Noise 2010*, Lisboa. 2010

Anexos

Anexo I- Inquérito sócio-acústicos

O modelo de inquérito distribuído aos visitantes está abaixo descrito.

(Inquérito em Português)

1-Género: Masculino Feminino

2-Faixa etária: <18 18-30 31-45 46-65 >65

3- Nacionalidade: Portuguesa Outra:

4- Quantas vezes já veio ao Jardim Botânico do Porto?
 Primeira vez 1 - 5 6-9 >10

5- Se pudesse realizar uma única alteração no Jardim Botânico, qual seria?
 R:

6- Porque visitou hoje o Jardim Botânico? (assinale com X nas opções)

Atividade física	Recreio	Plantas	Estudo	Outro:
------------------	---------	---------	--------	--------

7- Qual acha ser o aspeto mais importante no jardim? (assinale com X a opção)

Plantas	Manutenção	História	Sossego	Outro:
---------	------------	----------	---------	--------

8- Identifique dois sons que distingue no Jardim Botânico.
 R:

	Discordo completamente	Discordo pouco	Indiferente	Concordo muito	Concordo completamente
9- São esperados os sons que ouço no jardim					
10- Gosto destes sons					
11- O "volume" incomoda					
12- Considero o jardim acusticamente agradável					
13- Considero o jardim tranquilo					

	Péssimo	Mau	Sofrível	Nem bom nem mau	Suficiente	Bom	Ótimo
14- Como o avalia acusticamente? (assinale com X)							
15- Como avalia, globalmente, este jardim? (assinale com X)							

Sugestões/comentários:

(Inquérito em Inglês)

1-Gender: Male Female

2-Age range: <18 18-30 31-45 46-65 >65

3- Nationality:

4- How many times have you visited this botanical garden?

First time 1 - 5 6-9 >10

5- If you could change only one thing in this garden what would it be?

R:

6- Why did you visit this place? (Mark with X the answers)

Recreation Sports Tranquility Vegetation To Study Other:

7- What do you think is the most important aspect in the garden? (Mark with X the answer)

Nature Silence Cleanliness History Other:

8- Identify two sounds you distinguish in the Botanical Garden.

R:

	I Strongly disagree	Disagree	Indifferent	I very much agree	I strongly agree
9- The sounds heard in the garden are expected					
10- I like this sounds					
11-The "volume" bothers					
12- I find the garden pleasant					
13- I consider the garden quiet					

	Terrible	Bad	Poor	Neither good or bad	Fair	Good	Great
14- How do you rate this garden acoustically? (Mark with X)							
15- How do you rate this garden globally? (Mark with X)							

Comments/ Suggestions: